



TYÖPERÄINEN SÄTEILYALTISTUS

ISOTOOPPIOSASTOLLA

Suojautuminen alfa-, beeta- ja gammasäteilyltä

Tiia-Mari Ruuti

Anni Tokoi

Opinnäytetyö
Lokakuu 2017
Röntgenhoitajakoulutus



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Röntgenhoitajakoulutus

RUUTI, TIIA-MARI & TOKOI, ANNI:
Työperäinen säteilyaltistus isotooppiosastolla
Suojautuminen alfa-, beeta- ja gammasäteilyltä

Opinnäytetyö 42 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Lokakuu 2017

Vuonna 2015 isotooppitutkimuksia tehtiin Suomessa 45 120 ja isotooppihoitoja annettiin 2108. Isotooppitutkimusten määrä kasvoi 10,3 % ja isotooppihoitojen 13,7 % verrattuna vuoteen 2012, minkä vuoksi työntekijöiden säteilysuojelu on entistä tärkeämpää. Vuonna 2016 ionisoivan säteilyn annostarkkailussa oli 8000 terveydenhuollossa työskentelevää säteilytyöntekijää.

Säteilytyöllä tarkoitetaan terveydenhuollossa säteilyn lääketieteelliseen käyttöön liittyvää työtä, jossa työntekijä voi altistua säteilylle. Säteilytyötä tekevien työntekijöiden suoje-
luun kuuluu säteilyaltistuksen seuranta. Säteilysuojelun kolme tärkeintä periaatetta ovat
säteilylähteen lähellä vietetyn ajan minimoiminen, etäisyyden lisääminen sekä väliaineen
käyttäminen.

Opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisena opinnäytetyönä ja työn yhteistyökumppanina
toimi Pirkanmaan sairaanhoitopiirin Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos. Opinnäy-
tetyön tavoitteena oli lisätä tietoa säteilyturvallisesta työskentelystä isotooppityössä ja
tarkoitus oli suunnitella, toteuttaa ja arvioida säteilysuojeluopas isotooppiosaston henki-
lökunnalle sekä kaikille aiheesta kiinnostuneille. Opas tehtiin Tampereen yliopistollisen
sairaalan Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen osastolle. Säteilysuojeluopas poh-
jautui teoreettiseen viitekehykseen ja se koostui yhdestätoista A5-kokoisesta sivusta.

Kehittämisehdotuksena esitetään säteilysuojeluopasta PET-tutkimuksiin. Niissä käytettä-
vien korkea energisten säteilylähteiden vuoksi säteilysuojelu on tärkeää, jotta henkilö-
kunnalle asetetut vuosittaiset annosrajat eivät ylittyisi. Ammattitaitoa edistävässä harjoit-
telussa olevat opiskelijat voisivat hyödyntää säteilysuojeluopasta. Lisäksi opasta voisi
käyttää uusien työntekijöiden perehdytyksessä.

Asiasanat: ionisoiva säteily, työperäinen säteilysuojelu, isotooppitutkimus, isotooppi-
hoito, opas

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Radiography and Radiotherapy

RUUTI, TIIA-MARI & TOKOI, ANNI:
Occupational Radiation Protection in Nuclear Medicine Department
Radiation Protection against Alpha, Beta and Gamma Radiation

Bachelor's thesis 42 Pages, appendices 3 Pages
October 2017

In 2015 approximately 45 000 nuclear medicine examinations and more than 2000 nuclear medicine treatments were performed in Finland. Occupational radiation protection has an important role as the examinations and treatments with nuclear medicine have increased in the past years. Researches show that the main ways to protect from radiation are minimum time of exposure to the radiation source, maximum distance to the radiation source and shielding.

The study had a functional approach. The aim of this study is to increase the knowledge of radiation protection amongst nuclear medicine workers. The purpose of this study was to plan, design and evaluate a radiation protection guide.

This study was made in co-operation with the nuclear medicine department of Pirkanmaa Hospital District's Imaging Centre. The main questions were occupational radiation protection and how radiographers should protect from alpha, beta and gamma radiation. The product of this study was radiation protection guide. The guide contains 10 pages. The product of this study was based on the theoretical framework. The theoretical framework comprises ionizing radiation, occupational radiation protection and practical ways how to protect from radiation. This product was aimed for employees in nuclear medicine department and for everyone who is interested in radiation protection.

Key words: ionizing radiation, occupational radiation protection, nuclear medicine examination, nuclear medicine treatment

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	SÄTEILY	6
2.1	Säteilylajit ja isotooppiosastolla käytettävät radionuklidit	6
2.2	Tärkeät suureet ja käsitteet.....	10
2.3	Ionisoivan säteilyn biologiset vaikutukset	11
3	TYÖPERÄINEN SÄTEILYALTISTUS JA SILTÄ SUOJAUTUMINEN	13
3.1	Säteilysuojelua koskeva lainsäädäntö ja määräykset.....	13
3.2	Työperäinen säteilyaltistus isotooppiosastolla.....	16
3.3	Käytännön säteilysuojelu	18
4	TOIMINNALLINEN OPINNÄYTETYÖ PROSESSINA	25
4.1	Toiminnallinen opinnäytetyö menetelmänä.....	25
4.2	Tuotteen suunnittelu, toteutus ja arviointi	26
5	POHDINTA.....	31
5.1	Opinnäytetyöprosessin arviointi	31
5.2	Opinnäytetyön eettisyys ja luotettavuus	32
5.3	Oma oppimiskokemus ja kehittämis ehdotukset	33
	LÄHTEET	35
	LIITTEET	40

1 JOHDANTO

Isotooppilääketiede on lääketieteen erikoisala, jossa käytetään radioaktiivisia lääkkeitä potilaan hoidossa ja tutkimuksissa. Radioaktiivisten lääkkeiden avulla saadaan selvitettyä elinten toimintaan ja aineenvaihduntaan liittyviä muutoksia. (Korpela 2004, 220.) Vuonna 2015 isotooppitutkimuksia tehtiin Suomessa 45 120 ja isotooppihoitoja annettiin 2108. Isotooppitutkimusten määrä kasvoi 10,3 % ja isotooppihoitojen määrä 13,7 % verrattuna vuoteen 2012. (Pastila 2017, 12.)

Vuonna 2015 ionisoivan säteilyn annostarkkailussa oli 8000 terveydenhuollossa työskentelevää säteilytyöntekijää (Pastila 2017, 3). Suurimmat säteilyannokset terveydenhuollossa aiheutuvat isotooppiosaston työntekijöille (Nassef & Kinsara 2017). Tämän takia radioaktiivisten aineiden käytössä on otettava huomioon työntekijöiden säteilyturvallisuus (Väisälä, Korpela & Kaituri 2004, 291). Vuonna 2015 kenenkään työntekijän efektiivinen annos ei ylittänyt työntekijöille asetettuja annosrajoja (Pastila 2017, 15–16).

Opinnäytetyön aiheena on suojautuminen eri säteilylajeilta isotooppiosastolla. Aihe on työelämälähtöinen ja se valikoitui Pirkanmaan sairaanhoitopiiriin järjestämästä aiheseminaarista. Opinnäytetyön **tavoitteena** on lisätä tietoa säteilyturvallisesta työskentelystä isotooppityössä ja **tarkoituksena** on suunnitella, toteuttaa ja arvioida säteilysuojeluopas isotooppiosaston henkilökunnalle sekä kaikille aiheesta kiinnostuneille. Opinnäytetyön yhteistyökumppanina on Pirkanmaan sairaanhoitopiiriin Kuvantamiskeskus- ja apteekki-liikelaitos ja opinnäytetyö tehdään Tampereen yliopistollisen sairaalan Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen osastolle.

Opinnäytetyössä käsitellään isotooppiosastolla käytettäviä säteilylähteitä, kuten alfa-, beeta- ja gammasäteilijöitä, sekä sitä, kuinka niiltä suojaudutaan. Aihe on ajankohtainen ja tärkeä, sillä Paasosen (2011) tekemän tutkimuksen mukaan säteilysuojelukoulutus terveydenhuollon ammattiryhmien keskuudessa oli riittämätöntä vuonna 2010. Säteilysuojelu on osa röntgenhoitajan jokapäiväistä työtä ja suojautumismenetelmät ovat erilaiset riippuen säteilylähteestä ja säteilylajista. Isotooppiosaston henkilöstön on tärkeää ymmärtää säteilysuojelun merkitys, sillä heille aiheutuu työstä väistämätön säteilyannos (Sahin ym. 2009, 575).

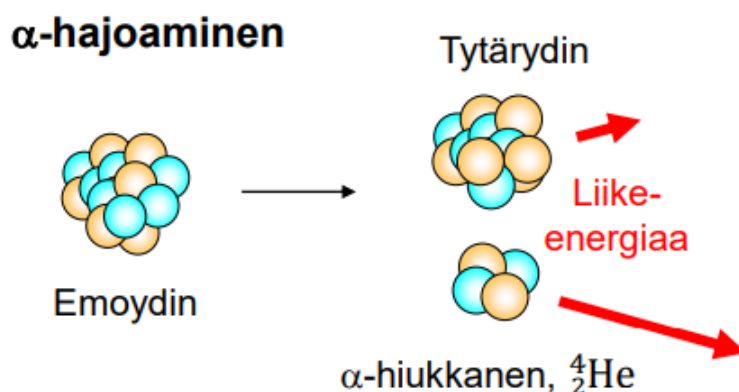
2 SÄTEILY

Säteily voidaan jakaa ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn, mutta toisaalta myös hiukkassäteilyyn ja sähkömagneettiseen säteilyyn (Jurvelin 2005, 15; STUK 2005a, 2). Ionisoiva säteily on suurenergistä säteilyä, joka voi irrottaa aineen elektroneja atomeista. Ionisoimaton säteily on matalaenergisempää kuin ionisoiva säteily, eikä se pysty irrottamaan elektroneja väliaineen atomeista. (STUK 2005a, 2.) Hiukkassäteilyä ovat esimerkiksi alfasäteily sekä beeta miinus ja beeta plus -säteily. Sähkömagneettista säteilyä ovat esimerkiksi radioaallot, näkyvä valo sekä röntgen- ja gammasäteily. Radioaallot ja näkyvä valo ovat ionisoimatonta säteilyä, mutta röntgen- ja gammasäteily ovat ionisoivaa säteilyä. (Jurvelin 2005, 15.)

2.1 Säteilylajit ja isotooppiasastolla käytettävät radionuklidit

Alfahajoaminen ja -säteily

Alfahajoaminen on radioaktiivista hajoamista, jossa ytimeistä lähtee kaksi protonia ja neutronia (kuva 1). Nämä protonit ja neutronit muodostavat α -hiukkasen eli Helium-atomin ytimen. Hajoamisessa ydin muuttuu tytärytimeksi, joka saattaa olla virittynyt ja virityksen lauetessa se lähettää sähkömagneettista säteilyä. (Sandberg & Paltemaa 2002, 20.) Alfahajoamista esiintyy luonnossa raskailla nuklideilla kuten uraanilla (STUK 2005b, 2–3).



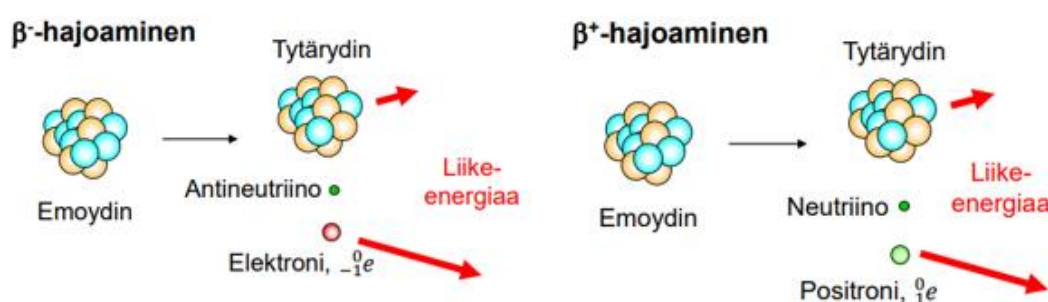
KUVA 1. Alfahajoaminen (Suhonen 2015, 9)

Alfasäteily on korkeaenergistä hiukkassäteilyä. Alfasäteily ei pysty läpäisemään ihmisen ihoa tai paperia (kuva 4) ja se on vaarallista vain joutuessaan ihmisen elimistön sisälle. (STUK 2005b, 2–3.) Alfasäteilyltä on helppo suojautua, sillä sen kantama on lyhyt, ilmassa alle 10 senttimetriä ja kudoksessa alle 100 mikrometriä. Tämän takia ulkoinen alfasäteily ei juuri aiheuta vaaraa ihmisille ja se jätetään usein huomioimatta arvioitaessa ulkoisen säteilyn aiheuttamaa säteilyannosta. (Lahtinen, Arvela, Pöllänen & Moring 2003, 302.)

Isotooppihoidossa käytetään $^{223}\text{Radiumia}$, alfasäteilijää, tietyn alueen pienten tilavuuksien, kuten prostatasyövän luustoetäpesäkkeiden hoidossa. Se lähettää 154 keV alfasäteilyä. (Lowry, Menghis, Mayes & Vinjamuri 2013, 113–114.)

Beetahajoaminen ja -säteily

Beetahajoamisessa atomin ydin siirtyy alempaan energiatilaan, jolloin massaluku säilyy samana, mutta varaus muuttuu (Sandberg & Paltemaa 2002, 21). Beetahajoamista on beeta miinus ja beeta plus -hajoaminen, missä atomin ydin lähettää β^- -hiukkasen, elektronin (β^-) tai positronin (β^+) (Sandberg & Paltemaa 2002, 21; Jurvelin 2005, 15). Beeta plus -hajoamisessa esiintyy myös sähkömagneettista annihilaatiosäteilyä (Sandberg & Paltemaa 2002, 21).



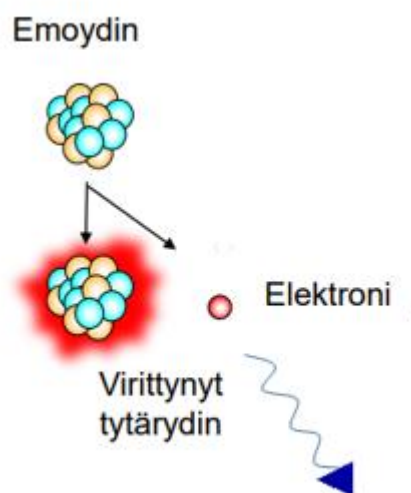
KUVA 2. Beetahajoaminen (Suhonen 2015, 11)

Beetahiukkaset ovat alfahiukkasia kevyempiä ja niillä on suurempi läpäisykyky (kuva 5). Beetahiukkaset voivat tunkeutua ihoon ja ovat haitallisia päästessään ihmisen elimistön sisälle. (STUK 2005b, 2–3.) Beetasäteilyn kantama ilmassa on alle 10 metriä ja kudoksessa alle yhden senttimetrin (Lahtinen ym. 2003, 302). Beetahiukkaset ovat kevyitä hiukkasia, joten ne eivät kulje suoraa linjaa kuten alfahiukkaset (Royal Society of Chemistry, Radiochemical Methods Group n.d.).

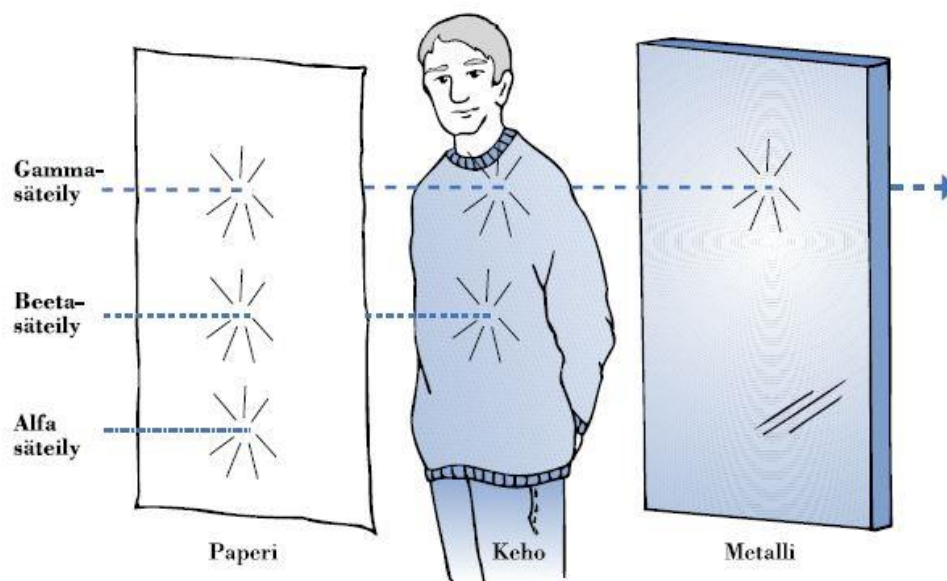
$^{131}\text{Jodi}$ on beetasäteilijä, joka lähettää myös gammasäteilyä. Sitä käytetään yleisesti isotooppihoidoissa, kuten esimerkiksi kilpirauhaskudoksen hoidossa. Se lähettää pääsääntöisesti 364 keV gammasäteilyä ja 0,61 MeV beetasäteilyä. Potilaiden, jotka saavat ison annoksen $^{131}\text{Jodia}$, tulee noudattaa erityisiä ohjeita, jotta ympärillä olevien henkilöiden säteilyannos saataisiin minimoitua. (Mantel & Williams 2013, 10.)

Gammasäteily

Gammasäteily on sähkömagneettista säteilyä, jossa atomin ytimen viritystila laukeaa ja ydin lähettää ionisoivia sekundaarihiukkasia ja fotoneja (kuva 3). (Sandberg & Paltemaa 2002, 44; STUK 2005b, 3). Gammasäteily on usein hyvin läpitunkevaa ja siltä on vaikea suojautua. Säteilyn energiasta riippuen voidaan tarvita paksu kerros lyijyä, terästä tai betonia, jotta säteily saadaan vaimennettua (kuva 4). (STUK 2005b, 2–3.) Yleisesti isotooppitutkimuksissa käytössä oleva $^{99\text{m}}\text{Teknetium}$ lähettää 140 keV gammasäteilyä. Teknetiumin puoliintumisaika on suhteellisen lyhyt (6h) ja sitä käytetään monien kudosten ja elinten kuvauksissa. (Korpela 2004, 223–224.) Gammasäteily on lyhyen aallonpituuden sähkömagneettista säteilyä, joten sen kantomatka on pitkä (Royal Society of Chemistry, Radiochemical Methods Group n.d.).



KUVA 3. Gammasäteily (sininen nuoli) (Suhonen 2015)



Alfa- ja beetasäteily pysähtyvät helposti väliaineeseen, mutta gammasäteilyllä on suuri läpäisykyky.

KUVA 4. Alfa, - beeta – ja gammasäteilyn läpäisykyky (STUK 2005b, 3)

Isotooppiosastolla käytettävät radionuklidit

Isotooppitutkimuksissa ja -hoidoissa käytettävien radionuklidien on täytettävä useita vaatimuksia, sillä niistä aiheutuu potilaalle väistämätön säteilyannos (Korpela 2004, 223; Farstad 2008, 6). Niiden tulisi muun muassa olla halpoja, nopeasti saatavilla sekä helposti käyttökuntoon saatettavissa (Ryder 2008, 23). Radionuklidien puoliintumisajan tulisi olla tutkimukselle sopiva, sillä liian lyhytikäinen radionuklidi voi johtaa epäonnistuneeseen tutkimukseen sekä vaikeuttaa sen kuljetusta ja jakelua taloudellisesti (Korpela 2004, 223; Ryder 2008, 22). Liian pitkä puoliintumisaika taas aiheuttaa potilaalle suuren säteilyannoksen (Korpela 2004, 223). Radionuklidit ovat käyttökelpoisia vain, jos ne kerääntyvät kohdekudokseen tai -elimeen (Ryder 2008, 22). Tämän takia ne liitetään erilaisiin kemiallisiin yhdisteisiin, jotka hakeutuvat halutulle alueelle elimistössä (Korpela 2004, 228; Ryder 2008, 22). Radioaktiiviseksi lääkkeeksi kutsutaan sellaisia kemiallisia yhdisteitä, joihin on liitetty radionuklidi ja joita voidaan antaa ihmisille (Korpela 2004, 228).

2.2 Tärkeät suuret ja käsitteet

Kansainvälinen säteily-yksiköiden ja mittausten toimikunta (ICRU, International Commission on Radiation Units and Measurements) vastaa säteilyn ja radioaktiivisuuden kansainvälisesti hyväksytyjen yksiköiden ja suureiden kehitystyöstä, jotta voidaan luotettavasti arvioida ja mitata ympäristöön ja ihmisiin kohdistuvaa haittaa (ICRU 2011, 4).

Aktiivisuuden yksikkö on bequerel (Bq). Bequerel kuvaa säteilylähteessä tapahtuvien hajoamisten määrää. Säteilylähteen aktiivisuus on 1 Bq silloin, kun lähteessä tapahtuu yksi hajoaminen sekunnissa. Aktiivisuuden vanha yksikkö on Curie (Ci). Yksi Ci tarkoittaa yhtä hajoamista yhden sekunnin aikana yhdessä grammassa puhdasta radiumia. Aktiivisuutta kuvataan usein myös massa- ja aikaan nähden. Massa-aktiivisuus (Bq/kg) tarkoittaa tiettyyn ainemäärään sisältyvää aktiivisuutta jaettuna sen massalla. Tietyllä pinta-alalla olevaa aktiivisuutta jaettuna sen pinta-alalla kutsutaan aktiivisuuskatteeksi (Bq/m²). (Sandberg & Paltemaa 2002, 19.)

Potilaan saamaa säteilyannosta voidaan kuvailla seuraavilla määritelmillä. Absorboitunut annos tarkoittaa säteilyltä siirtynyttä energiaa massayksikköä kohden. Sen yksikkö on gray, Gy (J/kg). Ekvivalenttiannos kuvaa absorboituneen annoksen aiheuttamaa biologista haittaa kudoksille ja elimille ja sen yksikkö on sievert (Sv). Ekvivalenttiannosta laskiessa otetaan huomioon myös säteilyn laatu. Efektiivinen annos puolestaan tarkoittaa säteilystä aiheutunutta terveydellistä kokonaishaittaa yksilölle. Efektiivinen annos saadaan laskemalla yhteen kudosten ja elinten ekvivalenttiannokset niiden painokertoimia hyödyntäen. Efektiivisen annoksen yksikkö on sievert (Sv). (Husso 2010, 13–14.) Sievertin kerrannaisyksiköitä ovat millisievert (mSv) ja mikrosievert (μSv). Annosnopeus kuvaa kuinka suuren säteilyannoksen aikayksikköä kohden kohdehenkilö saa säteilylähteestä. Annosnopeuden yksikkö on Sv/h. (STUK 2012, 6.)

Puoliintumisajaksi ($T^{1/2}$) kutsutaan aikaa, jonka kuluessa tietyn radioaktiivisen lähteen aktiivisuus on puoliintunut (Sandberg & Paltemaa 2002, 20). Biologinen puoliintumisaika kuvaa aikaa, jonka kuluessa puolet ihmisen kehossa olevasta radioaktiivisesta aineesta on erittynyt pois (STUK 2009a, 7).

2.3 Ionisoivan säteilyn biologiset vaikutukset

Säteilyn haittavaikutukset voidaan jakaa deterministisiin eli suoriin vaikutuksiin sekä stokastisiin eli satunnaisiin vaikutuksiin. Deterministinen haittavaikutus johtuu laajasta solutuhosta, joka syntyy hyvin suuren säteilyaltistuksen jälkeen. Yleisin deterministinen säteilyvamma on ihovaurio, sillä esimerkiksi röntgensäteily absorboituu suurimmaksi osaksi ihoon sekä ihonalaiskudokseen. Deterministinen vaikutus on varma, kun säteilyannos ylittää tietyn kynnsarvon. Stokastinen haittavaikutus voi syntyä jopa hyvin pienestä säteilyaltistuksesta: sillä ei ole kynnsarvoa. Stokastisia haittavaikutuksia ovat syöpä ja perinnölliset haitat ja ne käyvät ilmi vasta useiden vuosien jälkeen. (Paile 2002a, 44–46; 2005, 79–81.)

Pienten säteilyannosten biologisia vaikutuksia on vaikea arvioida ja tutkia, mutta alle 100 mSv annosten on todettu lisäävän syöpäriskiä (UNSCEAR 2000, 118; Mustonen, Salomaa & Kiuru 2002, 73). Sahin ym. (2009) ovat tutkineet pienten säteilyannosten genotoksisia eli DNA:ta vahingoittavia vaikutuksia isotooppiosaston työntekijöiden keskuudessa. Työntekijöiden verinäytteiden perusteella todettiin genotoksisten tapahtumien lisääntyneen työjakson jälkeen verrattuna kuukauden loman jälkeen otettuihin näytteisiin. (Sahin ym. 2009, 578.)

Ionisoivan säteilyn vaikutukset soluissa ja DNA:ssa

Ionisoiva säteily voi aiheuttaa muutoksia solun makromolekyyleihin, kuten DNA:n rakenteeseen ionisoimalla atomin elektroneja (Lundholm, Brzozowska & Wojcik 2016, 46). Ionisaatio vahingoittaa lähes aina solun makromolekyylejä, ja jopa hyvin pieni säteilyannos voi aiheuttaa paljon ionisaatiota (Mustonen & Salo 2002, 28). Ionisaatiot DNA:n rakenteessa voivat johtaa muutoksiin solun perimässä ja nämä muutokset voivat aiheuttaa syöpää. Vahinkojen tai muutosten laajuus riippuu säteilylajista sekä säteilyn kyvystä luovuttaa energiaa väliaineeseen eli energiansiirtokyvystä (LET, linear energy transfer). (Lundholm, Brzozowska & Wojcik 2016, 46.) Säteily, jolla on suuri energiansiirtokyky, aiheuttaa runsaasti ionisaatioita kulkiessaan väliaineen läpi. Alfasäteily on tiheästi ionisoivaa säteilyä, ja se voi aiheuttaa vaikeasti korjattavia ja laaja-alaisia vaurioita soluissa. Harvaan ionisoivalla säteilyllä, kuten gammasäteilyllä, on pieni energiansiirtokyky, mutta yleensä pidempi kantomatka kuin tiheään ionisoivalla säteilyllä. (Mustonen & Salo 2002, 29.)

Säteily voi vaikuttaa DNA:han joko suorasti eli ionisoimalla DNA-juosteen atomeja tai epäsuorasti eli ionisoimalla vesimolekyylin, joka hajoaa reaktiivisiksi radikaaleiksi. Nämä radikaalit, kuten hydroksyyli-radikaali ($\text{OH}\bullet$), voivat reagoida DNA-molekyylin kanssa ja aiheuttaa DNA-juosteen katkeamisen tai rakenteen muutoksen. (Lundholm, Brzozowska & Wojcik 2016, 46.) Varauksiset hiukkaset, kuten alfahiukkaset, protonit ja elektronit ovat suoraan ionisoivia, kun taas sähkömagneettinen säteily ja varauksettomat hiukkaset ionisoivat epäsuorasti (Mustonen & Salo 2002, 28).

Ionisoiva säteily voi aiheuttaa monenlaisia vaurioita DNA:ssa. Säteilyvauriot soluissa ja kudoksissa saavat alkunsa DNA:n rakenteen muutoksista. (Mustonen & Salo 2002, 31.) Vauriot DNA:n rakenteessa voivat ilmetä joko yhdessä tai molemmissa DNA:n juosteissa (Lundholm, Brzozowska & Wojcik 2016, 47). Vaurioiden laajuus ja vakavuus riippuvat solun kyvystä korjata näitä muutoksia. DNA:ssa on korjausentsyymejä, solunsisäisiä valkuaisaineita, joiden tehtävä on huolehtia DNA:n rakenteen virheettömyydestä. Yhden juosteen katkokset tai rakenteelliset muutokset ovat helpommin korjattavissa kuin kahden juosteen katkos, mikä johtaa usein solukuolemaan. (Mustonen & Salo 2002, 31–32.)

Säteily ja raskaus

Kehittyvän sikiön solujen jakautuminen on vilkasta. Tämän vuoksi se on erittäin herkkä säteilylle. Säteilystä aiheutuvat haitat sikiölle riippuvat säteilyannoksesta, saadusta annosnopeudesta ja siitä, missä vaiheessa raskaus on. Jos soluissa tapahtuu muutos hyvin varhaisessa vaiheessa, tulee osa sikiön soluista olemaan geneettisesti poikkeavia, mistä saatetaan muodostua kehityshäiriö. Tämän vuoksi raskaana olevien naisten säteilyannoksen minimoiminen on erittäin tärkeää. (Paile 2002c, 132–133.) Suurin vaara säteilystä sikiölle on raskausviikoilla 8–15. Yleisen käsityksen mukaan sikiön kehityshäiriöille pidetään kynnysarvoa 100 mSv. Tämän vuoksi esimerkiksi yksittäinen röntgentutkimus ei vaikuta suurella todennäköisyydellä lapsen kehitykseen. (Rytömaa 2003, 119.)

3 TYÖPERÄINEN SÄTEILYALTISTUS JA SILTÄ SUOJAUTUMINEN

Työperäiseksi altistukseksi luokitellaan kaikki työntekijälle työstä aiheutuva säteilyaltistus, joka on toiminnan harjoittajan vastuulla, riippumatta säteilylähteestä. Työntekijöiden ulkoisesta ja sisäisestä säteilystä aiheutunut säteilyannos lasketaan yhteen efektiiviseksi kokonaisannokseksi. Efektiivisen kokonaisannoksen avulla voidaan valvoa annosrajojen ja -rajoitusten toteutumista. (Mustonen ym. 2009, 49, 57.) Isotooppiosastolla työskentelevät altistuvat säteilylle radioaktiivisen lääkkeen käyttökuntoon saattamisessa ja kuljetuksen aikana sekä ollessaan lähellä säteilevää potilasta (Mattson 2012, 110).

3.1 Säteilysuojelua koskeva lainsäädäntö ja määräykset

Säteilylaki (592/1991) määrittää säteilyn käyttöä Suomessa. Lain tarkoituksena on minimoida säteilystä aiheutuvat terveydelliset ja muut haittavaikutukset. Laki koskee säteilystä, joka voi olla potilaan terveyden kannalta haitallista altistumista. (Säteilylaki 592/1991.) Säteilylain lisäksi säteilyn käyttöä ja toimintaa käsittelee säteilyasetus (1512/1991).

Säteilylaki (591/1991) käsittelee yleisiä periaatteita siitä, millaista toiminnan tulee olla, että se on hyväksyttävää. Oikeutus-, optimointi- ja yksilönsuojaperiaate ovat vaatimuksina hyväksyttävälle toiminnalle. Laissa määritellyn oikeutusperiaatteen mukaan toiminnasta koituvan hyödyn tulee olla suurempi kuin siitä aiheutuva haitta. Optimointiperiaatteen mukaan säteilyaltistus ja siitä aiheutuvat haitat tulee pitää niin pienenä kuin käytännöllisin keinoin on mahdollista. (Säteilylaki 592/1991.)

Yksilönsuojaperiaatteen mukaan yksilön säteilyaltistus ei saa ylittää asetuksella vahvistettuja enimmäisarvoja. Nämä annosrajat on asetettu säteilytyötä tekeville työntekijöille sekä väestölle. Annosrajojen tarkoituksena on varmistaa, että yksilön tai säteilytyöntekijän altistus ei ylitä annettuja annosrajoja. Annosrajat perustuvat Suomessa Euroopan unionin neuvoston direktiiviin 96/29/Euratom. (STUK 2013b, 4.) Yksilönsuojaperiaatteen toteutusta valvotaan Säteilyturvakeskuksen ylläpitämällä annosrekisterillä. Annos-

rekisteriin kuuluvat säteilytyötä tekevät työntekijät. Annosrekisteriin kirjataan säteilytyön laatu, käytössä oleva säteilyaltistuksen seurantamenetelmä sekä säteilyaltistukseen vaikuttavat tekijät. (Säteilylaki 592/1991.)

ST-ohjeissa 6.1 (STUK 2016), 6.2 (STUK 2017) ja 6.3 (STUK 2013a) käsitellään säteilyturvallisuutta isotooppilääketieteessä. ST-ohje 6.3 (STUK 2013a) velvoittaa, että toiminta on säännösten ja lain mukaista, ja tämän toteutuminen on toiminnan harjoittajan vastuulla. Toiminnan harjoittaja on myös vastuussa toiminnan laadusta ja säteilyturvallisuuden parantamisesta. Säteilyn käyttöä varten on oltava turvallisuuslupa, jonka myöntää Säteilyturvakeskus. (STUK 2013a, 3–4.)

Työntekijän säteilysuojelu

ST-ohjeen 1.6 (STUK 2009b, 17) mukaan säteilytyötä on työ, jossa työntekijän säteilyaltistus voi ylittää jonkun väestölle säädetyistä enimmäisarvoista. Väestön ja säteilytyötä tekevien työntekijöiden annosrajat on annettu säteilyasetuksessa 1512/1991. Säteilyasetuksessa (1512/1991) annetaan myös annosrajat 16–18-vuotiaille harjoittelijoille ja opiskelijoille. Työntekijöiden, harjoittelijoiden, opiskelijoiden ja väestön vuosittaiset annosrajat on esitetty taulukossa 1. Ennen säteilytyön aloittamista työntekijät on luokiteltava joko säteilyluokkaan A tai B. (STUK 2009b, 9.)

Säteilyluokkaan A kuuluvat ne työntekijät, joille työstä aiheutuva efektiivinen annos on tai voi olla suurempi kuin 6 mSv vuodessa tai silmän mykiön ekvivalenttiannos on suurempi kuin 45 mSv vuodessa ja ihon, käsien ja jalkojen ekvivalenttiannos suurempi kuin 150 mSv vuodessa. – – Säteilyluokkaan B kuuluvat ne säteilytyötä tekevät työntekijät, jotka eivät kuulu säteilyluokkaan A. (STUK 2009b, 9.)

Säteilytyöstä aiheutuvien säteilyannosten seuraamiseksi säteilyluokkaan A kuuluville työntekijöille on järjestettävä annostarkkailu. Annostarkkailun on perustuttava henkilökohtaiseen annosmittaukseen tai johonkin muuhun annosmäärittelyyn. (Säteilyasetus 1512/1991.)

TAULUKKO 1. Säteilytyötä tekevien työntekijöiden ja väestön annosrajat (Säteilyasetus 1512/1991; STUK 2014, 5)

Annosraja	Säteilytyötä tekevät työntekijät	Harjoittelijat ja opiskelijat, jotka ovat alle 18-vuotiaita mutta yli 16-vuotiaita	Väestö
Efektiivinen annos (mSv/v)			
• keskiarvo viiden vuoden aikana	20	-	-
• yhden vuoden aikana	50	6	1
Ekvivalenttiannos (mSv/v)			
• silmän linssi	150	50	15
• iho	500	150	50
• kädet ja jalat *	500	150	— **
* Kämmenet, kämmenselät, sormet, ranteet ja kynnarvarret sekä jalkaterät ja nilkat. ** Annosrajaa ei ole erikseen määritetty, mutta ihon ekvivalenttiannoksen annosraja koskee myös käsien ja jalkojen ihoa.			

Säteilyasetuksen (1512/1991) mukaan raskaana olevan tai imettävän säteilytyöntekijän annosraja ei saa ylittää 1 mSv vuodessa. Säteilyasetuksen mukaan raskaana olevan tai imettävän säteilytyöntekijän työ on järjestettävä sellaiseksi, että työstä saatava säteilyannos on mahdollisimman pieni. (Säteilyasetus 1512/1991.)

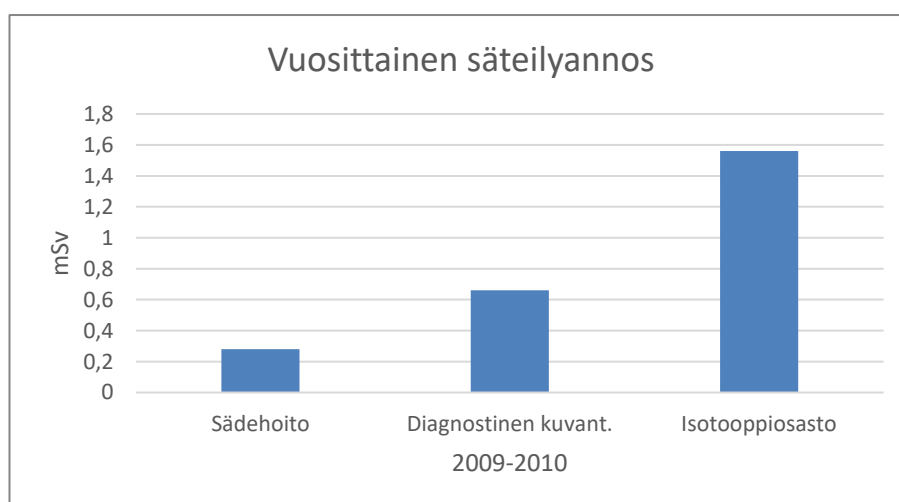
Tarvittaessa myös työskentelypaikat on jaettava valvonta-alueisiin ja tarkkailualueisiin, jolloin on otettava huomioon säteilylähteet, vuosiansiokset, kontaminaatiovaara sekä potentiaalinen säteilyaltistus. Valvonta-alueiksi luokitellaan ne paikat, joissa työskentely edellyttää erityisiä turvaohjeita ja -toimia säteily- ja kontaminaatoriskin vuoksi, ja jos työntekijälle työstä aiheutuva efektiivinen annos on tai voi olla suurempi kuin 6 mSv vuodessa, ekvivalenttiannos silmän mykiölle suurempi kuin 45 mSv ja iholle, käsille ja jaloille suurempi kuin 150 mSv vuodessa. Tarkkailualueiksi määritellään ne työskentelyalueet, jotka eivät ole valvonta-alueita, mutta joilla työntekijän säteilyannos voi ylittää väestölle annetut annosrajat, jotka on esitetty taulukossa 1. (STUK 2009b, 6–7.)

Radioaktiivisia aineita tulee käyttää ainoastaan sellaisessa paikassa, missä niiden käyttö on turvallista ja mihin sivullisilla ei ole pääsyä (Säteilylaki 592/1991). ST-ohjeen 6.2

(STUK 2017, 3) mukaan radioaktiivisten jätteiden käsittelystä tulee olla suunnitelma. Suunnitelmasta tulee käydä ilmi, kuinka jätteet saatetaan vaarattomiksi siten, että ympäristö ja ihmiset eivät vaarannu. Radioaktiivisen jätteen jätepakkauksessa on oltava säteilyvaaran merkki ja siitä on käytävä ilmi, mikä radioaktiivinen aine on kyseessä ja paljonko siinä on ollut aktiivisuutta tiettyinä ajankohtana, aineen kemiallinen sekä fysikaalinen olomuoto sekä se, mistä jätepakkaus on peräisin. (STUK 2017, 5.)

3.2 Työperäinen säteilyaltistus isotooppiosastolla

Piworska-Bilska ym. (2011) tekemässä tutkimuksessa seurattiin 19 vuoden ajan isotooppiosaston työntekijöiden saamia säteilyannoksia. Röntgenhoitajat olivat suurin säteilylle altistuva ammatillinen ryhmä (Piworska-Bilska ym. 2011, 18). Nassefin ja Kinsaran (2017) mukaan isotooppiosastolla työskenteleville aiheutuu suurimmat vuosittaiset säteilyannokset verrattuna sädehoidossa ja diagnostisessa kuvantamisessa työskenteleviin röntgenhoitajiin (kuvio 1). Piworska-Bilska ym. (2011, 18.) tutkimuksessa röntgenhoitajien vuosittainen efektiivinen säteilyannos oli 0,6 keskimäärin mSv ja suurin yksittäinen säteilyannos oli 18,6 mSv, kun taas Nassefin ja Kinsaran (2017) mukaan vuosittainen säteilyannos oli noin 1,56 mSv. Vaikka tutkimusten tuloksissa on eroa, vuosittaiset säteilyannokset jäivät silti alle suositellun annosrajan (20 mSv/v).



KUVIO 1. Vuosittaiset säteilyannokset eri osastoilla (Nassef & Kinsara 2017)

Työntekijät altistuvat epätasaisesti säteilylle, kun työskennellään avolähteiden kanssa. Käsien ja sormien annos voi tästä syystä olla huomattavasti suurempi kuin efektiivinen

annos. (Pastila 2017, 16.) Radioaktiivisten lääkkeiden käyttökuntoon saattamisen takia työntekijöiden sormiannokset voivat olla suuria ja ne voivat vaihdella huomattavasti työntekijöiden välillä johtuen eri välineiden ja laitteiden käytöstä sekä säteilysuojelutavoista (Vanhavere ym. 2012, 133, 169; Kubo & Mauricio 2014, 442).

Nassefin ja Kinsaran (2017) tekemän tutkimuksen mukaan isotooppiosaston työntekijöiden käsien ja sormien vuosittainen säteilyannos oli 12,88–31,7 mSv. Suomessa vuonna 2016 lähes kaikkien avolähteiden kanssa työskentelevien säteilytyöntekijöiden käsien ja sormien säteilyannos oli pienempi kuin 100 mSv (Pastila 2017, 16). Ginjaumen ym. (2012, 124) mukaan sädesuojat ovat tehokkain tapa vähentää ihon ja käsien annosta radioaktiivisia lääkkeitä käsiteltäessä.

Vanhaveren ym. (2012, 169) tekemän tutkimuksen mukaan 500 mSv vuosittainen annosraja käsille ja sormille voi ylittyä työntekijöillä, jotka eivät huolehdi säteilyturvallisudesta. Käsien ja sormien saamia säteilyannoksia voidaan mitata ja seurata sormessa tai ranteessa pidettävillä säteilymittareilla, mutta Vanhaveren ym. (2012, 169) tekemän tutkimuksen mukaan niiden käyttö on vähäistä tai ne on sijoitettu epäasianmukaisesti. Toisaalta Pastilan (2017, 16) mukaan sormiannosmittaria käyttävien työntekijöiden määrä Suomessa on kasvanut edellisvuosiin verrattuna.

Viimeaikaisten tutkimusten mukaan silmän linssi on herkempi ionisoivalle säteilylle kuin aiemmin on oletettu (Szermerski, Bruchmann, Behrens & Geworski 2015, 304). Ionisoiva säteily voi aiheuttaa näkökyvyn häiriöitä ja lisätä kaihin muodostumista (Alnaaimi ym. 2017). Kahden grayn säteilyannos voi aiheuttaa havaittavan samentuman, mutta vasta 5–6 grayn annos aiheuttaa näkökykyä haittaavan samentuman (Paile 2002b, 59). Tämän takia Szermerski ym. (2015, 304) suosittaa, että silmän linssin vuosittainen annosraja tulisi laskea 20 mSv.

Työntekijöiden säteilyannokseen vaikuttaa monta tekijää, mutta säteilylähteen luona vietetty aika on Leide-Svegbornin (2011, 204) mukaan niistä tärkein. Työntekijän taidoilla ja kokemuksella on suora yhteys aikaan ja siten myös säteilyannokseen. Tämän takia on suositeltavaa, että työntekijät opettelevat työtavat inaktiivisilla aineilla kokemuksen ja varmuuden lisäämiseksi. (Leide-Svegborn 2011, 204.)

3.3 Käytännön säteilysuojelu

Potilaan suojaamisen lisäksi säteilysuojelun tarkoituksena on varmistaa, että työntekijöiden säteilyaltistus jää mahdollisimman pieneksi, jotta voidaan suojella kaikkia osastolla työskenteleviä (Rep 2016, 99). Työntekijöiden suojautuminen ulkoiselta säteilyltä on haastavaa kaikilla isotooppilääketieteen osa-alueilla (Mattson 2012, 110). ST-ohjeen 3.3 (STUK 2014, 7) mukaan työntekijöiden säteilyaltistus on pidettävä niin pienenä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. Jotta säteilyaltistus jäisi mahdollisimman vähäiseksi, on työntekijöillä oltava hyvä tietämys säteilysuojelusta (Mattson 2012, 110). Kolme tärkeintä tapaa vähentää ulkoista säteilyaltistusta ovat ajan minimoiminen, etäisyyden lisääminen sekä väliaineen käyttö (Rep 2016, 99).

Aika

Säteilyannos riippuu annosnopeuden ja ajan tulosta eli mitä vähemmän säteilyn lähellä viettää aikaa sitä pienempi on siitä saatu annos. Työskentely nopeasti, asianmukainen valmistelu sekä harjoittelu varmistavat, että altistuminen jää mahdollisimman pieneksi (Rep 2016, 99). Suurin säteilyaltistus isotooppiosastolla aiheutuu tyypillisesti radioaktiivisten lääkkeiden käyttökuntoon saattamisesta sekä säteilevien potilaiden valmistelusta tutkimukseen (Zito, Canzi & Voltini 2007, 23). Henkilöstön tulee työskennellä säteilylähteen kanssa vain silloin, kun se on välttämätöntä eli turhaa oleskelua säteilylähteen lähellä tulee välttää. (Rep 2016, 99.)

Hosonon (2012, 114) tutkimuksen mukaan PET/CT-tutkimuksessa käyneiden iäkkäiden potilaiden hoitaminen aiheuttaa sitä enemmän säteilyannosta, mitä enemmän potilas tarvitsee apua päivittäisissä toimissa. Tutkimuksessa potilaat jaettiin viiteen ryhmään hoidon tarpeen mukaan (ADL=Activities of Daily Living). Ryhmän 1 potilaat eivät tarvineet apua päivittäisissä toimissa ja ryhmän viisi potilaat tarvitsivat tehostettua hoitoa. Taulukosta 3 voidaan todeta, että sairaanhoitajien säteilyannos kasvaa, kun potilaiden lähellä vietetty aika pitenee.

TAULUKKO 3. Sairaanhoidajien saama säteilyannos iäkkäiden PET/CT-potilaiden hoidosta (Hosono 2012, 114)

ADL	Potilaita (%)	hoitoaika (min)	Annos (μSv)
I	42	1	0,22
II	32	4	0,68
III	22	4	0,93
IV	0	-	-
V	4	10	2,40

Etäisyys

Säteilyn intensiteetti pienenee, kun etäisyys säteilylähteeseen lisääntyy. Säteilyannos pienenee suhteessa etäisyyden neliöön eli tuplaamalla etäisyys saadaan säteilyannos pienemmään yhteen neljäsosaan. Etäisyyden maksimointi on helppo ja tehokas suojautumiskeino. Mahdollisimman suuri etäisyys saadaan aikaan käyttämällä pitkävartisia apuvälineitä, kuten esimerkiksi pihtejä ja pinsettejä, seuraamalla potilaita monitorien välityksellä ja ohjaamalla heitä mahdollisimman kaukaa. (Rep 2016, 99–100.)

Ulkoinen alfa- ja beetasäteily aiheuttavat säteilyannosta vain, jos sitä on esimerkiksi ihon välittömässä läheisyydessä. Tällöin suurin osa alfasäteilyn energiasta absorboituu noin 50 μm syvyyteen, ihon kuolleeseen pintasolukkoon ja beetasäteily noin yhden senttimetrin syvyyteen. (Lahtinen 2003, 302, 338.) Lyhyen kantaman vuoksi etäisyyden lisääminen ei ole olennaista alfa- tai beetasäteilyltä suojautumiseen.

Elo ja Kallionkieli (2013) tutkivat opinnäytetyössään, kuinka etäisyys vaikuttaa annosnopeuteen. Annosnopeudet mitattiin potilailta, jotka olivat saaneet radioaktiivista lääkettä luuston gammakuvausta varten. Opinnäytetyössä annosnopeuksia mitattiin potilaan iholta (0 cm) sekä 50 cm, 100 cm ja 200 cm etäisyydeltä. Luuston gammakuvauksessa annosnopeudet mitattiin heti injektion jälkeen sekä kolmen tunnin kuluttua injektioista. Keskimääräiset mittaustulokset on esitetty taulukossa 4. (Elo & Kalliokieli 2013, 27.) Tuloksista käy hyvin ilmi etäisyyden vaikutus annosnopeuteen. Kun etäisyys kasvaa, annosnopeus pienenee merkittävästi. Tuloksista nähdään myös puoliintumisaajan merkitys:

kolmen tunnin aikana annosnopeus on pienentynyt yli puolella, kun mittaus on tehty potilaan iholta (0 cm). Ziton, Canzin ja Voltinin mukaan (2007, 22) annosnopeus 100 cm päässä potilaasta, joka on juuri saanut 740 MBq radioaktiivista lääkettä luuston gammakuvaukseen, on 5 $\mu\text{Sv/h}$.

TAULUKKO 4. Annosnopeudet luuston gammakuvauksessa eri etäisyyksiltä mitattuna (Elo & Kalliokieli 2013, 27)

Etäisyys potilaasta	Annosnopeus heti injektion jälkeen ($\mu\text{Sv/h}$)	Annosnopeus 3 tuntia injektion jälkeen ($\mu\text{Sv/h}$)
0 cm	299,6	81,2
50 cm	14,9	5,5
100 cm	6,5	2,7
200 cm	3,2	1,5

Whiten ym. (2000) tekemässä tutkimuksessa mitattiin työntekijöiden saamia säteilyannoksia PET-tutkimuksissa ja tuloksia verrattiin tavanomaisimmissa isotooppitutkimuksissa saatuihin säteilyannoksiin. PET-tutkimuksissa potilaat saivat 50–110 MBq ja luuston gammakuvauksessa 706–850 MBq suuruisen aktiivisuuden. Annosnopeudet ovat mitattu tutkimusten kuvausajankohtana potilaan iholta, 50 cm, 100 cm sekä 200 cm etäisyydeltä (taulukko 5). (White ym. 2000, 127–128.)

TAULUKKO 5. Keskimääräiset annosnopeudet kuvausajankohtana PET-tutkimuksessa ja luuston gammakuvauksessa eri etäisyyksiltä mitattuna (White ym. 2000, 128)

		Annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$			
Tutkimus	Radioaktiivinen lääke	0 cm	50 cm	100 cm	200 cm
PET (1h)	^{18}F -FDG	71,0	14,1	5,2	2,0
Luuston gammakuvaus (3,5h)	Tc-MDP	43,0	9,0	3,4	1,8

Väliaine

Etäisyyden ja ajan lisäksi tärkeä suojautumiskeino ulkoiselta säteilyltä on väliaineen käyttö (Zito, Canzi & Voltini 2007, 23). Sädesuojien tarkoitus on vaimentaa säteilyä, niin etteivät työntekijät tai potilaat altistuisi säteilylle (IAEA 2008, 27). Riittävä suoja riippuu säteilyn laadusta ja energiasta (Zito, Canzi & Voltini 2007, 23). Esimerkiksi gammasäteilyn intensiteetti pienenee eksponentiaalisesti väliaineen paksuuteen nähden (Rep 2016, 101).

Beetasäteily aiheuttaa ulkoisen säteilyn säteilyannosta suurimmaksi osaksi hajasäteilyn kautta, joka on seurausta elektronien ja positronien vuorovaikutuksesta aineen kanssa. Beetasäteily saadaan vaimennettua käyttämällä esimerkiksi polyeteeniä tai akryylilasiasia. (Rep, 2016, 101.) Isotooppihoidoissa käytettävälle beetasäteilijälle, ^{90}Y trium, ruiskun ja lääkepullon suojan vähimmäispaksuus on 10 mm polymetyyliakrylaattia (PMMA) sekä muutama millimetri lyijyä tai viisi millimetriä volframia hajasäteilyn vaimentamiseksi (Vanhavere ym. 2012, 158).

PET-tutkimuksissa käytettävät radionuklidit ovat läpäisykykyisempiä ja korkeaenergisempiä kuin tavallisissa isotooppitutkimuksissa käytettävät radionuklidit, minkä takia ne vaativat paksumpia suojia (Kop ym. 2008). Lyijyesiliinoiden käytöstä ei ole hyötyä korkeaenergistien radionuklidien kanssa, sillä 0,5 mm paksuinen lyijyesiliini vaimentaa ^{18}F fluorin lähettämää säteilyä vain 6 % (Rep 2016, 101).

Lyijy ja volframi ovat tehokkaita säteilysuojamateriaaleja gammasäteilyä vastaan. Esimerkiksi ruiskunsuojan vähimmäispaksuus $^{99\text{m}}\text{Tc}$ teknetiumille on 2 mm volframia ja lääkepullon vähimmäispaksuus 3 cm lyijyä, kun taas ^{18}F fluorille ruiskunsuojan vähimmäispaksuus on 5 mm volframia ja lääkepullon suojan vähimmäispaksuus 3 cm lyijyä. (Zito, Canzi & Voltini 2007, 24; Ginjaume ym. 2012, 126.)

Kaikki säteilylähteet, joita kuljetetaan isotooppiosastolla, pitää laittaa esimerkiksi lyijy- tai volframisuojan sisälle (Rep 2016, 100–101). Kopin ym. (2008, 5) tutkimuksessa rintakehän alueen säteilyannos oli 0,09 mSv, kun kuljetuslaatikon seinän paksuus oli 30 mm lyijyä ja 0,46 mSv, kun paksuus oli 17 mm lyijyä. Säteilylähde tulee pitää lyijysuojan sisässä myös silloin, kun sitä säilytetään varastossa (EANM Radiopharmacy Committee 2007, 3).

Kontaminaatio ja dekontaminaatio

Ulkoisella kontaminaatiolla tarkoitetaan radioaktiivisen saasteen tai aineen joutumista esimerkiksi työskentelytasolle, ilmaan tai ympäristöön (IAEA 2005, 9). Ulkoisessa kontaminaatiossa iho tai vaatteet altistuvat radioaktiiviselle pölylle, aerosolille, nesteelle tai hiukkasille. Sormien ja suun kautta ulkoinen kontaminaatio voi myös levitä elimistön sisälle, jolloin kyseessä on sisäinen kontaminaatio. Radioaktiivista ainetta voi joutua elimistön sisälle hengitysilman, suun tai avohaavojen kautta. Altistuksen kesto vaihtelee paljon riippuen aineen puoliintumisajasta sekä erittymisestä. Dekontaminaatio tarkoittaa radioaktiivisen saasteen puhdistamista. (STM 2008, 14–15.)

Ihon kontaminoituessa saastunut alue tulisi pestä mahdollisimman nopeasti lämpimällä vedellä ja pesuaineella, mikä poistaa kontaminaation 95 prosenttisesti (Paile 2002c, 62; STM 2008, 3). Puhdistuksella voidaan estää beetasäteilypalovamman muodostuminen, pienentää sisäisen kontaminaation vaaraa ja ehkäistä kontaminaation leviämistä. Pesun jälkeen ulkoinen kontaminaatio voidaan arvioida pintakontaminaatiomittarilla, jota vietään hitaasti (2–3 cm sekunnissa) altistuneen alueen ympäri. Mittari ei saa koskettaa kontaminoitunutta aluetta, ja se tulisi suojata esimerkiksi ohuella suojahanskalla. (STM 2008, 14, 32–33.) Jos saastuneen alueen säteilytaso on kaksinkertainen taustaan verrattuna, puhdistusta jatketaan pehmeällä harjalla vahingoittamatta ihoa (Paile 2002c, 62; STM 2008, 32–33). Puhdistuksen tavoitteena on, että altistuneella alueella olisi gamma- tai beetasäteilyjätit alle 4 Bq/cm² tai alfasäteilyjätit alle 0,4 Bq/cm² (STUK 2012, 18).

Vuonna 2016 isotooppiyksiköissä tapahtuneita poikkeavia tapahtumia ilmoitettiin 13 kappaletta, joista kahdessa tapauksessa käyttötila tai työntekijä kontaminoitui radioaktiivisesta aineesta. Toisessa tapauksessa kanyylista oli purskahtanut muutama pisara radioaktiivista lääkettä hoitajan injisoidessa potilaalle fosfori-32-hoitoa. Roiskeita mitattiin hoitajan iholta sekä injektiohuoneesta. Puhdistustoimien ja pintakontaminaatio mittausten jälkeen hoitajan käsien ihon saamaksi säteilyannokseksi arviotiin 160 mSv. (Pastila 2017, 20.)

Jos silmä kontaminoituu radioaktiivisella aineella, sitä tulee huuhdella juoksevan veden alla tai steriilillä keittosuolaliuoksella 15 minuutin ajan (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011, 150; Tuovila 2017). Silmäluomia täytyy pitää auki huuhtelun aikana sormilla. En-

nen saastuneen alueen koskettamista sormet ja kädet tulisi mitata pintakontaminaatiomittarilla. (IAEA 2005, 65; Domínguez-Gadea & Cerezo 2011, 150.) Huuhtelun jälkeen silmän alue mitataan pintakontaminaatiomittarilla ja tarvittaessa jatketaan huuhtelua (Domínguez-Gadea & Cerezo 2011, 150).

Isotooppilaboratoriossa tai muilla säteilyn käyttöpaikoilla radioaktiivisen aineen määrä työskentelytasoilla ei saa ylittää tiettyjä pintakontaminaatorajoja (taulukko 6). Jos pintakontaminaatorajat ylittyvät, on ryhdyttävä toimenpiteisiin kontaminaation poistamiseksi. (Väisälä ym. 2002, 288–289.) Puhdistustoimilla estetään radioaktiivisen aineen leviäminen muualle ympäristöön. Radioaktiiviset nesteet imeytetään paperipyyhkeisiin ja pölyt pyyhitään kostealla pyyhkeellä, minkä jälkeen saastunutta aluetta pestään vedellä. (Tuovinen 2017.) Jotta ympäröivät alueet eivät saastuisi, on puhdistuksessa käytettävä sisäänpäin suuntauvia liikkeitä (STM 2008, 34). Ruhmanin, Granthamin ja Martinin (2010, 194) mukaan 30 sekunnin huuhtelu vesijohtovedellä puhdistaa $^{99m}\text{TcO}_4$ kontaminoituneen työskentelypinnan yli 99 %.

TAULUKKO 6. Pintakontaminaatorajat (Väisälä ym. 2002, 289)

Radioaktiivinen aine	Työpaikat ja työvälineet		Työntekijät	
	Valvonta-alue (Bq/cm ²)	Tarkkailu- ja muu alue (Bq/cm ²)	Vaatteet (Bq/cm ²)	Iho (Bq/cm ²)
Alfasäteilijät	4	0,4	0,4	0,2
Beeta- ja gamma-säteilijät	40	4	4	2

Sisäinen kontaminaatio voidaan todeta molemmista sieraimista ja nielusta otettavilla pyyhinnäytteillä, jotka suljetaan näytteenoton jälkeen minigrip-pusseihin ja mitataan pintakontaminaatiomittarilla. Jos sieraimista otetun näytteen aktiivisuus on yli 100 cpm (counts per minute), voi keuhkojen altistus olla hyvin suuri. (STM 2008, 35.) Analysoimalla virtsa- ja ulostenäytteitä voidaan arvioida radioaktiivisten aineiden määrää kehossa (Sisäministeriö 2016, 53).

Radioaktiivista ainetta voi olla hengitysilmassa esimerkiksi höyrynä, sillä haihtumista tapahtuu muun muassa $^{131}\text{Jodi}$ -liuoksen käsittelyn aikana (Carneiro 2015, 70). Jos radioak-

tiivista ainetta on joutunut hengitysilmaan, on työntekijöiden käytettävä hengityssuojaimia, sillä hiukkaset, joiden halkaisija on alle 10 µm, voivat kulkeutua alveoleihin asti (STM 2008, 35; Sisäministeriö 2016, 74). Hengityssuojaimilla voidaan estää hengityksen kautta saatavaa sisäistä altistusta (Sisäministeriö 2016, 74). Henkilö, joka on niellyt tai hengittänyt radioaktiivista ainetta tai aerosolia ei aiheuta suoraa vaaraa muille, jos kyseessä ei ole gammasäteilijä (IAEA 2005, 11).

Isotooppilaboratoriossa käsitellään radioaktiivisia aineita avolähteinä, minkä takia työskentelyssä pitää huomioida kontaminaation vaara (Paile 2002c, 62; STUK 2016, 9). Isotooppilaboratoriossa työntekijöiden täytyy käyttää kertakäyttöisiä hanskoja sekä säteilymittaria. Suojatakin käyttö on myös suositeltavaa. (IAEA, 2006, 510.) Radioaktiivisten lääkkeiden käyttökuntoon saattamisesta ja käsittelystä tulee olla kirjalliset ohjeet (STUK 2013, 7). Taulukossa 7 on esitetty isotooppilaboratorion yleisiä työskentelyohjeita. (STUK 2016, 9.)

TAULUKKO 7. Yleiset ohjeet avolähteiden kanssa työskentelyyn (STUK 2016, 9–10)

Asiatonta oleskelua isotooppilaboratoriossa tulee välttää.
Kaikki työvälineet, joita on käytetty radioaktiivisten aineiden käsittelyssä, tulee puhdistaa aina käytön jälkeen.
Isotooppilaboratorio tulee pitää siistinä.
Isotooppilaboratoriossa on oltava kontaminaatio- ja säteilymittareita.
Radioaktiivisia aineita käsiteltäessä on käytettävä suojavaatetusta.
Isotooppilaboratoriossa ei saa syödä, juoda eikä tupakoida.
Pölyäviä/haihtuvia radioaktiivisia aineita pitää käsitellä vetokaapissa.
Radioaktiivisten lääkkeiden käyttökuntoon saattamisessa tulee käyttää säteilysuojia, kuten ruiskunsuojaa ja lyijylinnaa.
Radioaktiivisia aineita käsiteltäessä tulee suosia automaattisia laitteistoja.
Säteilylähteet tulee merkitä siten, että ne on helppo tunnistaa. Merkinnästä on käytävä ilmi, mikä nuklidi on kyseessä ja paljonko siinä on aktiivisuutta tietyssä kellonaikana.
Kontaminaatiotilanteita varten on oltava asianmukaiset välineet sen poistamiseksi.
Isotooppilaboratorion kaikista radioaktiivisista aineista on pidettävä kirjaa.

4 TOIMINNALLINEN OPINNÄYTETYÖ PROSESSINA

Ammattikorkeakouluasetuksen (352/2003) mukaan opinnäytetyö kehittää ja osoittaa opiskelijan valmiuksia hyödyntää opittuja tietoja ja taitoja käytännön asiantuntijatehtävissä. Opinnäytetyö pohjautuu ammattiopinnoissa käsiteltäviin aiheisiin. Toiminnallinen opinnäytetyö rakentuu kahdesta osasta: toiminnallisesta osuudesta sekä opinnäytetyöraportista (Lumme ym. 2006). Opinnäytetöiden käytännöllisyys ja työelämälähtöisyys ovat Lumpeen ym. (2006) mukaan ammattikorkeakoulujen vahvuus.

4.1 Toiminnallinen opinnäytetyö menetelmänä

Vilka ja Airaksinen (2003, 9) määrittelevät toiminnallisen opinnäytetyön seuraavasti: ”Toiminnallinen opinnäytetyö tavoittelee ammatillisessa kentässä käytännön toiminnan ohjeistamista, opastamista, toiminnan järjestämistä ja järjeistämistä”. Esimerkiksi kirja, opas tai kehittämissuunnitelma voi olla toiminnallisen opinnäytetyön toteutustapa kohde-ryhmän tarpeiden mukaan. Tuotos pohjautuu raportin teoreettiseen viitekehykseen, joten ammattiteoria sekä sen tunteminen ovat oleellinen osa opinnäytetyötä. (Lumme ym. 2006.)

Tutkiva, kehittävä ja pohtiva ote ovat opinnäytetyön tekemisen edellytys, mikä näkyy muun muassa aiheen valinnan ja rajauksen perusteluina sekä suhtautumisena kriittisesti omaan tekemiseen ja kirjoittamiseen (Lumme ym. 2016). Käsitteiden käyttö ja niiden avaaminen on tärkeää opinnäytetyön teoreettisessa viitekehyksessä. Käsitteet varmistavat yksiselitteisen kommunikaation alan asiantuntijoiden välillä ja ovat yksi teorian perusosista. (Kananen 2015, 102.)

Aiheen valintaan tulisi kiinnittää huomiota, sillä sen pitäisi olla ajankohtainen, tarpeellinen sekä hyödyllinen (Lumme ym. 2006.) Aihe tulisi valita opinnäytetyön tekijän pääaiheen aihealueeseen liittyen, jolloin tekijä osaa aiheen perusteorian. Opinnäytetyön toteutumista motivoi ja helpottaa oikean aiheen valinta. (Kananen 2015, 34.)

Lumpeen ym. (2006) mukaan opinnäytetyön työelämälähtöisyys hyödyttää prosessin kaikkia osapuolia ja se on tärkein syy työelämän kanssa toimimiseen. Kun opinnäytetyö

tehdään työelämän kanssa yhteistyössä, opiskelija saa kokemusta työelämää hyödyttävästä tutkimuksesta ja projektista (Lumme ym. 2006). Rissanen (2003, 144) arvioi, että työelämlähtöinen opinnäytetyö kehittää laaja-alaista ammattiosaamista sekä asiantuntijaosaamisen jakamista.

4.2 Tuotteen suunnittelu, toteutus ja arviointi

Usein sosiaali- ja terveysalan tuotteet, kuten potilasohjeet tai henkilökunnan perehdytykseen tehdyt oppaat, on tarkoitettu informaation välittämiseen. Tuotteen keskeinen sisältö tulisi olla mahdollisimman täsmällistä sekä ymmärrettävää kohderyhmän tiedontarpeen mukaan. (Jämsä & Manninen 2000, 54.) Tämän vuoksi tuotteen suunnittelu alkaa kohderyhmän määrittämisellä. (Torkkola, Heikkinen & Tiainen 2002, 36.) Tämän opinnäytetyön tuotoksena tehty opas on suunniteltu isotooppiosaston työntekijöille sekä kaikille aiheesta kiinnostuneille (liite 1).

Perehdyttämisen ja työnopastuksen tarkoitus on, että työntekijä oppii tuntemaan muun muassa työpaikan tavat, työhön liittyvät odotukset, työssä käytettävät työvälineet sekä niiden oikeat ja turvalliset käyttötavat (TTK n.d). Henkilökunnan antamat suulliset ohjeet voivat jäädä niukaksi kiireen vuoksi, jolloin kirjalliset ohjeet ovat hyödyllisiä. Kirjalliset ohjeet ovat usein henkilökohtaisen ohjauksen välttämätön täydennys. (Torkkola ym. 2002, 7–8). Röntgenhoitajan on osattava isotooppiosaston työskentelytavat, jotta potilaiden tai työntekijöiden turvallisuus ei vaarantuisi. Opasta voi tulevaisuudessa käyttää esimerkiksi isotooppiosastolle tulevien opiskelijoiden tai uusien työntekijöiden perehdyttämisessä.

Oppaan sisältöön valittiin yhteistyökumppanin toiveiden mukaan säteilyfysiikkaa sekä käytännön säteilysuojelua. Hyödynsimme yhteistyökumppanilta saamaamme listaa käytössä olevista isotoopeista (taulukko 7). Oppaan sisältö haluttiin pitää mahdollisimman tiiviinä ja selkeänä, jotta asian ymmärtäminen ja muistaminen helpottuisi. Oppaan tekemisessä käytettiin apuna Torkkolan ym. (2002) ohjeita hyvän ohjeen tekoon.

TAULUKKO 7. Tampereen yliopistollisen sairaalan isotooppiosastolla käytettävät radionuklidit (Tautila 2017)

	alfasäteilijät	beetasäteilijät	sekasäteilijät	gammasäteilijät	PET
Hoidoissa tai tutkimuksissa käytettävät radionuklidit	^{223}Ra	^{32}P , ^{90}Y , ^{169}Er , ^{177}Lu , ^{153}Sm , ^{186}Re	^{131}I	$^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{51}Cr , ^{75}Se , ^{123}I	^{68}Ga , ^{18}F
Laitteissa olevat kiinteät tai liikuteltavat säteilylähteet		^{57}Co	^{137}Cs	^{68}Ge , ^{133}Ba , ^{153}Gd	

Hyvä ohje alkaa selkeällä otsikolla, josta käy ilmi mihin tarkoitukseen se on tehty. Otsikolla herätetään myös lukijan mielenkiinto. (Torkkola ym. 2002, 38.) Oppaan otsikoksi valikoitui ”Työperäinen säteilyaltistus isotooppiosastolla”, sillä se kuvasi parhaiten sen sisältöä ja sitä kenelle opas on suunnattu. Ensimmäisessä luvussa, *Säteilylajit*, kerrotaan yleisesti ionisoimattomasta ja ionisoivasta säteilystä sekä hiukkassäteilystä ja sähkömagneettisesta säteilystä. Samassa luvussa käydään tarkemmin läpi hiukkassäteilystä alfa- ja beetahajoaminen ja sähkömagneettisesta säteilystä gammasäteily. Seuraavassa luvussa, *Isotooppilaboratorion työohjeet*, on lueteltu isotooppilaboratorion yleisiä työohjeita. Oppaaseen valittiin nämä aiheet, sillä ne ovat tärkeä osa säteilysuojelua. *Käytännön säteily-suojelu* -luvussa kerrotaan, kuinka röntgenhoitaja voi pienentää säteilyaltistusta työskennellessään isotooppiosastolla. Tärkeimmät sisältöalueet olivat ajan minimoiminen, etäisyyden lisääminen, väliaineen käyttö sekä kontaminaation estäminen.

Varsinainen teksti tulee kirjoittaa selkeällä yleiskielellä eli slangeja ja sanontoja tulisi välttää (Torkkola ym. 2002, 42–43). Asiatyylillä valitaan tuotteen tekstityyliksi, kun tavoitteena on informoida tai opastaa kohderyhmää. Tuotteen tekstin tulisi heijastaa ammattikunnan arvoihin ja kulttuuriin liittyviä näkökohtia. Nämä ovat tunnistettavissa muun muassa asioiden perusteluina tai esimerkkien ja vaihtoehtojen esittämisenä. (Jämsä & Man-

ninen 2000, 55–56.) Tekstityyliksi valittiin asiatyyli, sillä tarkoituksena on opastaa lukijoita säteilysuojeluun liittyvissä asioissa. Oletettavasti suurin osa oppaan lukijoista on röntgenhoitajia tai terveysalan ammattilaisia, joten oppaassa on käytetty terveysalan ammattisanastoa sekä kohderyhmää puhuttelevaa kirjoitustyyliä.

Typografia on painotuotteiden tai julkaisujen ulkoasun suunnittelua. Siinä päätetään muun muassa tuotteen fontti, sivun koko, tunnukset, tehostekeinot ja värit. Fontti on typografian olennaisin elementti. Se on osa tuotteen ulkoasua mutta myös väline viestin ymmärtämiseen. (Huovila 2006, 85, 88.) Säteilysuojeluoppaan fontiksi valikoitui Corbel ja fonttikooksi 10.

Painotuotteiden yhtenäistämiseksi eri organisaatiot ovat voineet valita itselleen tietyn visuaalisen tyylin. Tuotteiden ulkoasun yhteneväisyys helpottaa eri organisaatioiden painotuotteiden tunnistamista sekä toimii osana organisaation imagoa. (Jämsä & Manninen, 57.) Ulkoasulla rakennetaan tuotteelle visuaalinen tunnistettavuus (Huovila 2006, 85). Säteilysuojeluoppaan ulkoasun pääväriksi valittiin sininen yhteistyökumppanin toiveen mukaan ja koska se on Pirkanmaan sairaanhoitopiirin tunnusväri. Sininen väri viestii rauhallisuudesta, tyytyväisyydestä sekä järjestyksestä (Huovila 2006, 45). Säteilysuojeluopas suunniteltiin kolmiosaiseen opas-sarjaan isotooppiosastolle. Yhteistyökumppanin halusi, että opas olisi ulkoasultaan samanlainen kuin muut oppaat, jotka tehdään samalle osastolle. Ulkoasu valittiin valmiista Microsoft Word pohjasta.

Kuvien tarkoituksena on herättää lukijan mielenkiinto, mutta niistä voi olla apua myös asian ymmärtämisessä (Torkkola ym. 2002, 40). Suomen standardisoimisliiton (2012, 66) mukaan kuvien laatuun tulee kiinnittää huomiota. Tekstissä kerrottua asiaa voidaan tehostaa valokuvan avulla ja usein kuvan tulkitseminen on helpompaa kuin tekstin omaksuminen lukemalla. Sisällöltään kuvien tulisi olla aiheeseen liittyviä ja kuvien sisältämän informaation tulisi vastata tekstissä esiintyvää tietoa (Huovila 2006, 10–11) Yhdessä kuvassa ei saisi olla liikaa informaatiota (Suomen standardisoimisliitto 2012, 68). Hyvät kuvatestit ovat tärkeitä selventämään kuvien sisältöä, ja kuviin liittyvä teksti tulee asettaa kuvien viereen tai välittömään läheisyyteen (Torkkola ym. 2002, 40; Suomen standardisoimisliitto 2012, 68). Oppaassa käytettiin isotooppiosastolla otettuja kuvia. Kuvien avulla haluttiin lisätä lukijan mielenkiintoa säteilysuojelua kohtaan ja helpottaa käsiteltävän asian ymmärtämistä. Säteilysuojeluoppaan kuvissa noudatettiin Suomen standardisoimisliiton antamia ohjeita.

Oppaan kanteen valittiin kuva lääkepullojen suojista ja säteilyvaaran merkki, sillä väliai-
neen käyttö on tärkeä osa säteilysuojelua ja säteilyn varoitusmerkkiä käytetään huomion
kiinnittämiseen säteilyvaaraan. Ensimmäisessä luvussa tekstin tukena on kuvia säteilyla-
jeista, alfa- ja beetahajoamisesta sekä gammasäteilystä. Toisessa luvussa on kuvat iso-
tooppilaboratoriossa käytettävistä suojavaatteista sekä säteilymittareista. *Käytännön sä-
teilysuojelu* -luvussa on kuvia etäisyyden ja väliaineen käytöstä. Etäisyyden hyödyn ha-
vainnollistamiseksi valittiin kaksi kuvaa, joissa ensimmäisessä röntgenhoitaja ohjaa po-
tilasta parin metrin päästä ja toisessa röntgenhoitaja työskentelee hyödyntäen käsiensä
ulottuvuutta etäisyyden lisäämiseksi. Lyijyisten kuljetuslaatikoiden ja ruiskunsuojien aja-
teltiin olevan selkein esimerkki väliaineen käytöstä, jonka vuoksi kuvat valittiin oppaa-
seen. Kaikissa kuvissa on käytetty kuvatekstejä, sillä niillä haluttiin täsmentää kuvien si-
sältöä.

Tehokeinoina voidaan käyttää laatikoita, kehyksiä tai linjoja, joiden tarkoituksena on pai-
nottaa asian tärkeyttä tai herättää mielenkiintoa. Laatikoihin sijoitettu teksti korostaa
asian arvoa ja tulee usein paremmin huomatuksi tällä tavalla. (Huovila 2006, 115.) Sätei-
lysuojeluoppaan sivuilla 7, 9 ja 10 on käytetty sinisiä laatikoita, jotta lukijan huomio kiin-
nittyisi laatikossa käsiteltäviin asioihin. Laatikot on sijoitettu eri sivuille, sillä Huovilan
(2006, 115) mukaan samalle sivulle ei ole hyvä sijoittaa kahta laatikkoa, koska se saattaa
tehdä kokonaisuudesta hämmentävän. Sivuilla 7–9 on tähden muotoisia laatikoita, joilla
on tahdottu korostaa, mikä säteilylaji on olennaisin tietyn säteilysuojelukeinon kohdalla.

Säteilysuojeluoppaan alaotsikot on sijoitettu sinisiin laatikoihin eli kehyksiin. Kehyksillä
voidaan ryhmitellä sivua ja tuoda eri elementtejä esiin (Huovila 2006, 116–117). Alaot-
sikoissa kirjaimen värinä on käytetty taustan väriä eli valkoista ja kehyksen värinä sinistä,
jota käytetään myös kappaleotsikoiden värinä. Kirjaimen ja pohjan värien vaihtelua eli
käänteistekstiä voidaan käyttää asian korostamiseen tai ymmärrettävyyden helpottami-
seen (Huovila 2006, 116–117).

Opinnäytetyöprosessin sekä tuotteen arviointi on tärkeä osa toiminnallista opinnäyte-
työtä. Usein arvioinnissa tekijät arvioivat tuotteen suunnittelua, toteuttamisprosessia ja
niiden raportointia. Tuotteesta on myös hyvä pyytää palautetta yhteistyökumppanilta ja
ohjaajalta itsearviointin lisäksi. (Lumme ym. 2006.) Palautetta ja korjausehdotuksia saa-
tiin sekä yhteistyökumppanilta että ohjaajalta ja säteilysuojeluopasta muokattiin niiden

perusteella. Tavoitteena oli lisätä tietoa säteilyturvallisesta työskentelystä isotooppi-työssä, mutta sen toteutumisesta ei voida olla varmoja, sillä säteilysuojeluopasta ei ehditty testaamaan uusilla työntekijöillä tai opiskelijoilla.

5 POHDINTA

5.1 Opinnäytetyöprosessin arviointi

Opinnäytetyön prosessi on esitetty kuviossa 2. Opinnäytetyöprosessi alkoi syksyllä 2016. Opinnäytetyön aihe saatiin Pirkanmaan sairaanhoitopiirin järjestämästä aiheseminaarista. Kun aihe, “miten suojautua eri säteilijöiltä”, oli valittu, opinnäytetyön tekijät alkoivat valmistella aiheanalyysia ideaseminaria varten. Ideaseminari pidettiin lokakuussa 2016.

Ideaseminarin jälkeen opinnäytetyön tekijät alkoivat tehdä opinnäytetyön suunnitelmaa. Suunnitelman tarkoitus on tuoda esille, mitä opinnäytetyössä tehdään sekä kartoittaa tekijöiden ideoita ja tavoitteita. Se on myös lupaus siitä, mitä aiotaan tehdä ja missä aikataulussa. (Vilkkä & Airaksinen 2003, 26–27.)

Syksyllä 2016 opinnäytetyön tekijät ottivat yhteyttä yhteistyökumppaniin eli Tampereen yliopistollisen sairaalan Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen osastolle ja sopivat ajan yhteistyöpalaveriin, jossa keskusteltiin opinnäytetyön sisällöstä. Palaverissa keskusteltiin myös aiheen rajauksesta ja yhteistyökumppanin toiveista ja tarpeista oppaaseen liittyen. Yhteistyöpalaveri pidettiin joulukuussa 2016, jonka jälkeen suunnitelma viimeisteltiin ja hyväksyttiin joulukuussa 2016. Yhteistyösopimus kirjoitettiin tammikuussa 2017.

Teoreettista viitekehystä opinnäytetyön tekijät alkoivat kirjoittaa heti hyväksytyn suunnitelman ja yhteistyösopimuksen jälkeen. Opinnäytteen tekijät osallistuivat ryhmäohjaukseen ja yksilöohjaukseen keväällä 2017. Ohjauksissa saatua palautetta käytettiin hyväksi teoreettisen viitekehysten kirjoittamisessa. Opinnäytetyön tekijät alkoivat suunnitella ja toteuttaa opasta, kun teoreettinen viitekehys oli lähes valmis. Valmiiksi raportti ja opas tulivat syyskuussa 2017 ja opinnäyte palautettiin lokakuussa 2017. Opinnäytetyö esitettiin esitysseminaarissa marraskuussa 2017.



KUVIO 2. Opinnäytetyöprosessi aikajärjestyksessä.

5.2 Opinnäytetyön eettisyys ja luotettavuus

Kanasen (2015, 119) mukaan korkeakoulujen opinnäytetöiden tulisi täyttää tieteen kriteerit, joita ovat järjestelmällisyys, järkiperaisyys sekä uusi tieto. Uuden tiedon tuottaminen ei usein toteudu ammattikorkeakoulujen toiminnallisissa opinnäytetöissä, ja on vaatimuksena erittäin tiukka. Opinnäytetyössä tekijä tuo esille jo olemassa olevaa tietoa aiheesta ja pyrkii lisäämään tai kokoamaan aihealueen tietovarantoa. (Kananen 2015, 119.) Vilkan ja Airaksisen (2003, 41–42) mukaan opinnäytetyön tekijöiden tulisi myös osoittaa pystyvänsä yhdistämään teoreettinen tieto käytäntöön.

Tämä opinnäytetyö on tehty hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti. Hyviin tieteellisiin käytäntöihin kuuluu rehellisyys, yleinen huolellisuus ja tarkkuus tutkimustyössä, tulosten dokumentoinnissa sekä tutkimuksen arvioinnissa (Varantola ym. 2012, 6). Opinnäytetyö on tehty TAMKin kirjallisen raportoinnin ohjeen mukaisesti. Teoreettinen viitekehys ja oppaan sisältö vastaavat toisiaan.

Muiden tutkijoiden töiden ja saavutusten huomioon ottaminen sekä niihin viittaaminen oikeaoppisesti on myös osa hyvää tieteellistä käytäntöä (Varantola ym. 2012, 6). Opinnäytetyön teoreettisessa viitekehyksessä käytettiin monipuolisesti luotettavia lähteitä, jotka olivat mahdollisimman ajankohtaisia. Teoriaosuudessa on käytetty niin suomenkielisiä kuin kansainvälisiä lähteitä. Opinnäytetyön tekijät kunnioittavat tekijänoikeuksia viittaamalla lähteisiin asianmukaisesti ja merkitsemällä kaikki käytetyt lähteet sekä tekstiin että lähdeluetteloon.

Opinnäytetyössä käytettyihin kuviin (kuva 1; kuva 2; kuva 3) on pyydetty lupa kuvien alkuperäiseltä julkaisijalta. Teoreettisessa viitekehyksessä on käytetty myös STUKin julkaisemaa kuvaa (kuva 4). Kuvat ovat niiden alkuperäisessä muodossa ja niihin on liitetty asianmukaiset lähdetiedot.

5.3 Oma oppimiskokemus ja kehittämisehdotukset

Raporttia kirjoitettaessa opinnäytetyön tekijät oppivat uutta ja syventävää tietoa aiheen sisällöstä. Oppaassa käytettiin valmista Word-pohjaa, mikä helpotti oppaan tekemistä. Opinnäytetyöntekijät oppivat, kuinka opas kannattaa rakentaa ja miten siitä saa mielenkiintoisen. Opinnäytetyö oli prosessina pitkä ja aikaa kului paljon.

Opinnäytetyön tekijöillä ei ollut aiempaa kokemusta vastaavanlaisesta yhteistyöstä yhteistyökumppanin kanssa. Tämä opetti opinnäytetyön tekijöille suunnitelmallisuutta, sopimusten tekoa ja niissä pysymistä. Koska opinnäytetyö tehtiin yhteistyökumppanille, aikataulussa oli pysyttävä.

Raportin tekeminen opetti opinnäytetyön tekijöille lähdekriittisyyttä. Opinnäytetyön haettiin olevan mahdollisimman luotettava, joten lähteiden tuli olla ajankohtaisia ja luotettavilta tahoilta. Haastavuutta lisäsivät kansainväliset lähteet. Opinnäytetyön tekijät oppivat, kuinka lähteet merkitään oikein lähdeluetteloon.

Opinnäytetyön prosessi alkoi aikataulun mukaisesti ja opinnäytetyön suunnitelma saatiin tehtyä ja hyväksyttyä suunnitellusti, mutta teoreettisen viitekehyksen kirjoittaminen viivästyi. Tehtävien selkeä jakaminen olisi voinut nopeuttaa viitekehyksen kirjoittamista, kun kummallekin tekijälle olisi ollut selvillä oma osuus opinnäytetyöstä.

Kehittämisehdotuksena opinnäytetyön tekijät ehdottavat säteilysuojeluopasta PET-tutkimukseen. Säteilysuojeluoppaasta voisi olla hyötyä PET-tutkimuksissa, sillä säteilyltä suojautuminen on vielä tärkeämpää, kun käytössä on korkeaenergisempiä säteilylähteitä.

LÄHTEET

Alnaaimi, M., Alkhorayef, M., Omar, N., Abughaith, N., Alduaij, M., Salahudin, T., Alkandri, F., Sulieman S. & Bradley, D.A. 2017. Occupational Radiation Exposure in Nuclear Medicine Department in Kuwait. Radiation physics and chemistry. In press.

Asetus ammattikorkeakouluista 15.5.2003. 352/2003

Carneiro, L.G., de Lucena, E.A., da Silva Sampaio, C., Dantas, A.L.A., Sousa, W.O., Santos, M.S. & Dantas, B.M. 2015. Internal dosimetry of nuclear medicine workers through the analysis of ^{131}I in aerosol. Applied Radiation and Isotopes 100, 70–74.

Domínguez-Gadea, L & Cerezo, L. 2011. Decontamination of radioisotopes. Reports of practical oncology and radiotherapy 16, 147–152.

EANM Radiopharmacy Committee. 2007. Guidelines on current good radiopharmacy practice (cGRPP) in the preparation of radiopharmaceuticals. cGRPP-guidelines. 3.

http://eanm.org/publications/guidelines/gl_radioph_cgrpp.pdf

Elo, A. & Kalliokieli, T. 2013. Potilaan säteily isotooppitutkimuksen jälkeen – kirjallinen ohje hoitohenkilökunnalle. Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Farstad, B. 2008. The Radiopharmacy Technology. Teoksessa Dennen, S. & Decristoforo, C. (toim.) The Radiopharmacy. EANM, 6–11.

Ginjaume, M., Sans-Merce, M., Carnicer, A., Donadille, L., Barth, I. & Vanhavere, F. 2012. Assessing and reducing exposures to nuclear medicine staff. Radiation protection in medicine: setting the scene for the next decade: proceedings of an International Conference, 3.–7.12.2012. Bonn. IAEA.

Hosono, M. 2012. Radiation protection challenges and trends in PET/CT. Radiation protection in medicine: setting the scene for the next decade: proceedings of an International Conference, 3.–7.12.2012. Bonn. IAEA.

Huovila, T. 2006. ”Look”, visuaalista viestisi. Helsinki: Inforviestintä Oy.

Husso, M. 2010. Mikä on säteilyannos ja miten se syntyy. 28.–29.10.2010 Sädeturvapäivät. Tampere.

IAEA. 2006. Nuclear medicine resources manual. Vienna.

IAEA. 2008. Radiation protection in newer medical imaging techniques: PET/CT. Safety reports series no. 58. Vienna.

IAEA. 2010. Radiation biology: A handbook for teachers and students. Training course series no. 42. Vienna.

ICRU. 2011. Fundamental quantities and units for ionizing radiation (revised). ICRU Report No. 85. Bethesda.

Jurvelin, J. 2005. Radiologisen kuvantamisen fysiikka ja tekniikka sekä varjoaineet. Teoksessa Soimakallio, S., Kivisaari, L., Manninen, H., Svedström, E. & Tervonen, O. (toim.) Radiologia. Helsinki: WSOY, 11–76.

Jämsä, K & Manninen, E. 2000. Osaamisen tuotteistaminen sosiaali- ja terveysalalla. Helsinki: Tammi.

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas. Näin kirjoitat opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Teemu Makkonen (toim.) Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja -sarja. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kubo, A.L.S.L. & Mauricio, C.L.P. 2014. TLD occupational dose distribution study in nuclear medicine. Radiation measurements 71, 442–446.

Kop, J.M.M., Kemerink, G.J., Öllers, M.C. & Pakbiers, M-T.W. 2008. Optimization of radiation protection as a result of PET/CT applications. 12th congress of the international radiation protection association (IRPA12): Strengthening radiation protection worldwide—highlights, global perspective and future trends 19.–24.9.2008. Buenos Aires. IAEA.

Korpela, H. 2004. Isotooppilääketiede. Teoksessa Pukkila, O. (toim.) Säteilyn käyttö. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 220–252.

Lahtinen, J., Arvela, H., Pöllänen, R. & Moring, M. 2003. Ulkoinen säteily. Teoksessa Pöllänen, R. (toim.) Säteily ympäristössä. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 302–349.

Lehtinen, M. 2015. Työntekijöiden säteilyannokset. Säteilyturvallisuus ja laatu isotooppilääketieteessä 10.–11.12.2015. Helsinki. Säteilyturvakeskus.

Leide-Svegborn, S. 2011. External radiation exposure of personnel in nuclear medicine from ¹⁸F, ^{99m}Tc and ¹³¹I with special reference to fingers, eyes and thyroid. Radiation protection dosimetry 149 (2), 196–206.

Lumme, R., Leinonen, R., Leino, M., Falenius, M. & Sundqvist, L. 2006. Opinnäytetyön ohjausprosessi. Virtuaali ammattikorkeakoulun opiskelumateriaali. <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/030906/1113558655385/1154602577913/1154670359399/1154756862024.html>

Lundholm, L., Brzozowska, B. & Wojcik, A. 2016. Radiobiological Principles. Teoksessa Rep, S., Santos, A. & Testanera, G. (toim.) Radiation Protection and Dose Optimisation. EANM, 46–55.

Lowry, B. A., Menghis, R. B., Mayes, C. & Vinjamuri, S. 2013. Radionuclide Therapy of Refractory Metastatic Bone Pain. Teoksessa Hogg, P., Pestean, C. & Veloso Jeronimo, V. (toim.) Radionuclide Metabolic Therapy. EANM, 113–114.

Mantel, E.S. & Williams, J. 2013. Principles in Radionuclide Therapy. Teoksessa Hogg, P., Pestean, C. & Veloso Jeronimo, V. (toim.) Radionuclide Metabolic Therapy. EANM, 9–17.

Mattsson, S. 2012. Radiation protection of patients and staff in diagnostic nuclear medicine and hybrid imaging. Radiation protection in medicine: setting the scene for the next decade: proceedings of an International Conference, 3.–7.12.2012. Bonn. IAEA.

Mustonen, R. & Salo, A. 2002. Säteily ja solu. Teoksessa Paile, W. (toim.) Säteilyn terveysvaikutukset. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 28–41.

Mustonen, R., Salomaa, S. & Kiuru, A. 2002. Säteily ja syövän synty. Teoksessa Paile, W. (toim.) Säteilyn terveysvaikutukset. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 66–75.

Mustonen, R., Sjöblom, K-L., Bly, R., Havukainen, R., Ikäheimonen, T.K., Kosunen, A., Markkanen M. & Paile, W. 2009. Säteilysuojelun perussuosituksat 2007. Suomenkielinen lyhennelmä julkaisusta ICRP-103. STUK-A235. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

Nassef, M.H. & Kinsara, A.A. 2017. Occupational radiation dose for medical workers at a university hospital. Journal of Taibah University for science. In press.

Paasonen, T. 2011. Terveystenhuollon henkilöstön perus- ja jatkokoulutukseen sisältyvä säteilysuojelukoulutus Suomessa 2010. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

Paile, W. 2002a. Säteilyn haittavaikutusten luokittelu. Teoksessa Paile, W. (toim.) Säteilyn terveysvaikutukset. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 44–46.

Paile, W. 2002b. Säteilyvammat. Teoksessa Paile, W. (toim.) Säteilyn terveysvaikutukset. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 50–63.

Paile, W. 2002c. Säteily ja raskaus. Teoksessa Paile, W. (toim.) Säteilyn terveysvaikutukset. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 132–133.

Paile, W. 2005. Säteilyn biologiset vaikutukset. Teoksessa Soimakallio, S., Kivisaari, L., Manninen, H., Svedström, E. & Tervonen, O. (toim.) Radiologia. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö, 79–82.

Pastila, R. (toim.) 2017. Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2016. STUK-B 213. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

Piwowarska-Bilska H., Birkenfeld, B., Gwardyś, A., Supińska, A., Listewnik, M.H., Elbl, B. & Cichoń-Bańkowska, K. 2011. Occupational exposure at the department of nuclear medicine as a work environment: A 19-year follow-up. Polish Journal of Radiology 76 (2), 18–21.

Rep, S. 2016. Occupational Radiation Protection. Teoksessa Rep, S., Santos, A., Testanera, G. (toim.) Radiation Protection and Dose Optimisation. EANM, 99–106.

Rissanen, R. 2003. Työelämälähtöinen opinnäytetyö oppimisen kontekstina. Fenomenografisia näkökulmia tradenomin opinnäytetyöhön. Tampereen yliopisto. Kasvatustieteiden laitos. Väitöskirja.

Royal Society of Chemistry, Radiochemical Methods Group. N.d. Alpha, Beta and Gamma Radioactivity. Luettu 20.4.2017. http://www.rsc.org/images/essay3_tcm18-17765.pdf

- Ruhman, N., Grantham, V. & Martin, C. 2010. The Effectiveness of Decontamination Products in the Nuclear Medicine Department. *Journal of nuclear medicine* 38, 191–194.
- Ryder, H. 2008. Radiopharmacy. Teoksessa Dennen, S & Decristoforo, C. (toim.) *The Radiopharmacy*. EANM, 22–32.
- Rytömaa, T. 2003. Säteilyriskit ja niiden torjuminen. Kuopio: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim.
- Sahin, A., Tatar, A., Oztas, S., Seven, B., Varoglu, E., Yesilyurt, A. & Ayan, A.K. 2009. Evaluation of genotoxic effects of chronic low-dose ionizing radiation exposure on nuclear medicine workers. *Nuclear medicine and biology* 36, 575–578.
- Sandberg, J & Paltemaa, R. 2002. Ydin- ja säteilyfysiikan perusteet. Teoksessa Ikäheimonen, T.K. (toim.) *Säteily ja sen havaitseminen*. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 11–63.
- Sisäministeriö. 2016. Säteilytilanneohje. Sisäministeriön julkaisu 10/2016. Helsinki: Sisäministeriö.
- STM. 2008. Säteilyonnettomuudet. Säteilylle altistuneiden tutkimus ja hoito. Helsinki: Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö.
- STUK. 2005a. Ionisoimaton säteily ja ihmiset. Helsinki: Säteilyturvakeskus.
- STUK. 2005b. Ionisoiva säteily. Helsinki: Säteilyturvakeskus.
- STUK. 2009a. Ihmisen radioaktiivisuus. Helsinki: Säteilyturvakeskus.
- STUK. 2009b. Säteilyturvallisuus työpaikalla. ST 1.6. 10.12.2009. Helsinki: Säteilyturvakeskus.
- STUK. 2012. Suojelutoimet säteilyvaaratilanteen jälkivaiheessa. VAL 2. Helsinki: Säteilyturvakeskus.
- STUK. 2013a. Säteilyturvallisuus isotooppilääketieteessä. ST 6.3. 14.1.2013. Helsinki: Säteilyturvakeskus.
- STUK. 2013b. Säteilytoiminnan turvallisuus. ST 1.1. 23.5.2013. Helsinki: Säteilyturvakeskus.
- STUK. 2014. Röntgentutkimukset terveydenhuollossa. ST 3.3. 8.12.2014. Helsinki: Säteilyturvakeskus.
- STUK. 2016. Säteilyturvallisuus avolähteiden käytössä. ST 6.1. 2.3.2016. Helsinki: Säteilyturvakeskus.
- STUK. 2017. Radioaktiiviset jätteet ja päästöt avolähteiden käytössä. ST 6.2. 9.1.2017. Helsinki: Säteilyturvakeskus.
- Suhonen, S. 2015. Säteilyfysiikkaa: ydinfysiikka ja radioaktiivisuus. Luento. 11.9.2015. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Tampere.

Suomen standardisoimisliitto SFS. 2012. Käyttöohjeiden laatiminen. Jäsentäminen, sisältö ja esittäminen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Szermerski, B., Bruchmann I., Behrens, R. & Geworski, L. 2015. Dose rate constant for the quantity $H_p(3)$ for frequently used radionuclides in nuclear medicine. Zeitschrift für medizinische physik 26 (4), 304–310.

Säteilyasetus 20.12.1991/1512.

Säteilylaki 592/1991. 27.3.1991/592.

Taatala, T. Röntgenhoitaja. Sähköpostiviesti. tiina.taatala@pshp.fi. Luettu 6.6.2017.

Torkkola, S., Heikkinen, H. & Tiainen, S. 2002. Potilasohjeet ymmärrettäviksi: opas potilasohjeiden tekijöille. Helsinki: Tammi.

TTK. N.d. Perehdyttäminen ja työnopastus. Ennakoivaa työsuojelua. Luettu 20.9.2017. [https://ttk.fi/etusivu_\(vanha\)/tyosuojelu/perehdyttaminen_ja_tyonopastus](https://ttk.fi/etusivu_(vanha)/tyosuojelu/perehdyttaminen_ja_tyonopastus)

Tuovinen, H. 2017. Kontaminaation mittaussäteilyn käytössä. Teollisuuden ja tutkimuksen 12. säteilyturvallisuuspäivät. 5.-7.4.2017. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

UNSCEAR. 2000. Sources and effects of ionizing radiation. Biological effects at low radiation doses. Report vol II. New York: United nations.

Vanhavere, F., Carinou, E., Gualdrini, G., Clairand, I., Sans Merce, M., Ginjaume, M., Nikodemova, D., Jankowski, J., Bordy, J.-M., Rimpler, A., Wach, S., Martin, P., Srtuelens, L., Krim, S., Koukorava, C., Ferrari, P., Mariotti, F., Fantuzzi, E., Donadille, L., Itié, C., Ruiz, N., Carnicer, A., Fulop, M., Domienik, J., Brodecki, M., Daures, J., Barth, I. & Bilski, P. 2012. ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff. Braunschweig: EURADOS.

Varantola, K., Launis, V., Helin, M., Spoof, S.K. & Jäppinen, S. (toim.) 2012. Hyvä tietellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Helsinki: Tutkimuseettinen neuvottelukunta.

Vilkka, H & Airaksinen, T. 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Jyväskylä: Tammi.

Väisälä, S., Korpela, H & Kaituri, M. 2004. Säteilyn käyttö teollisuudessa ja tutkimuksessa. Teoksessa Pukkila, O. (toim.) Säteilyn käyttö. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 256–295.

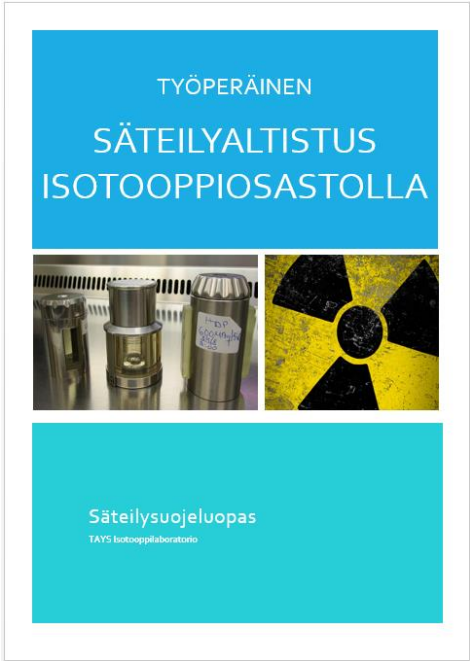
White, S., Binns, D., Jonston, V., Fawsett, M., Greer, B., Ciavarella, F. & Hick, R. 2000. Occupational Exposure in Nuclear Medicine and PET. Clinical positron imaging 3 (3), 127–129.

Zito, F., Canzi, C. & Voltini, F. 2007. Best practice in radiation protection. Teoksessa Hugget, S. (toim.) Best practice in nuclear medicine. Part 2. Technologist's guide. EANM, 21–29.

LIITTEET

Liite 1. Opas

1 (3)



Sisällysluettelo

JOHDANTO	3
SÄTEILY	4
ALFAHAJAAMINEN- JA SÄTEILY	4
BEETAHAJAAMINEN- JA SÄTEILY	5
GAMMASÄTEILY	5
KÄYTTÄNNÖN SÄTEILYSUOJELU	6
AIKA	6
ETÄISYYS	6
VÄLIÄINE	7
KONTAMINAATION ESTÄMINEN	8
ISOTOOPPILABORATORION TYÖOHJEET	10
LISÄTIETOA	11

Johdanto

Hyvä lukija,

Tämä opas on laadittu avuksi ymmärtämiseen, kuinka suojautua isotooppiosastolla käytettävistä säteilylähteistä. Oppaan tarkoituksena on lisätä tietäsi alfa-, beeta- ja gammäsäteilystä ja kuinka niiltä voi käytännöllisin keinoin suojautua.

Isotooppihävädettä käytetään hyökei tautien määrittämiseen ja totaamiseen, mutta myös esimerkiksi syöviin hoitamiseen. Isotooppi tutkimuksissa käytetään gammäsäteilyä tai positronisäteilyä, mikä voidaan havaita kehon ulkopuolelta gammakameralla. Isotooppihoidossa taas käytetään lyhyen kantaman säteilylähteitä, kuten alfa- ja beetasäteilylähteitä.

Vuonna 2015 isotooppi tutkimuksia tehtiin Suomessa 45 120 ja isotooppihoitoja annettiin 2108. Isotooppi tutkimusten määrä kasvoi 10,7 % ja isotooppihoitojen 13,7 % verrattuna vuoteen 2012. Vuonna 2015 ionisoivan säteilyn annostarkkailussa oli 8000 terveyshuollossa työskentelevää säteilytyöntekijää. Suurien tutkimus määrän vuoksi radioaktiivisten aineiden käyttöä on otettava huomioon työntekijöiden säteilyturvallisuus.

Radioaktiivisten aineiden käyttöä on otettava huomioon työntekijöiden säteilyturvallisuus ja sen lisäksi on huomioitava ympäristölle aiheutuvat haitat. Toiminnan tulee olla suunniteltua ja työmenetelmien tulee olla selkeät, että säteilytät aiheutua haitta olisi mahdollisimman pieni.

Antoisia lukuhetkiä!



Säteily

Säteily voidaan jakaa ionisoivan ja ionisoimattomaan säteilyyn, mutta toiselta myösi hiukkas säteilyyn ja sähkömagneettiseen säteilyyn. Ionisoiva säteily on suurenenergistä säteilyä, joka voi irrottaa aineen elektronit atomoista. Ionisoimaton säteily on matala energisempiä kuin ionisoiva säteily, eikä se pysty irrottamaan elektroneja välittömästi atomoista. Hiukkas säteilyä ovat alfa säteily sekä beeta minus- ja beeta plus säteily. Sähkömagneettista säteilyä ovat esimerkiksi radioaallot, näkyvä valo sekä röntgen- ja gammäsäteily. Radioaallot ja näkyvä valo ovat ionisoimattomia säteilyä, mutta röntgen- ja gammäsäteily ovat ionisoivia säteilyä.



KUVA 1. Säteilylaji

Alfahajoaminen- ja säteily

Alfahajoaminen on radioaktiivista hajoamista, jossa ytimestä lähtee kaksi protonia ja neutronia. Nämä protonit ja neutronit muodostavat α -hiukkasen eli helium-atomin ytimen. Hajoamisessa ydin muuttuu tytärytimeksi, joka saattaa olla viritetty ja virittyään lauetessa se lähettää sähkömagneettista säteilyä.

Alfasäteily on korkeanenergistä hiukkas säteilyä ja alfa hiukkaat ovat raskaita nuklideja, minkä vuoksi niillä on lyhyt kantama. Lyhyen kantaman vuoksi alfasäteilyä on helppo suojautua. Alfasäteily ei pysty läpäisemään ihmisen ihoa tai paperia ja se on vaarallista vain joutuessaan ihmisen elimistöön sisälle. Alfasäteily on tehokas ionisoiva, ja se voi aiheuttaa vakavasti korjattavia ja laaja-alaisia vaurioita solussa ja kudoksissa. Isotooppihoidossa käytetään ^{223}Ra radiumia (154 kv), joka on alfasäteilyä, tietyn alueen pienten tilavuuksien, kuten prostata syövän luostopätkä keuhon hoidossa.



(jatkuu)

Beetahajoaminen- ja säteily

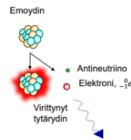
Beetahajoamisessa atomin ydin siirtyä alempaan energiatilaan, jolloin massaluku säilyy samana mutta varaus muuttuu. Beetahajoamista on beeta minus- ja beeta plus-hajoamista, jossa atomin ydin lähettää β^- -hiukkasen, elektronin (β^-) tai positronin (β^+).



Beetahiukkaset ovat afaihuksia kevyempiä ja niillä on suurempi läpäisykyky. Beetahiukkaset voivat torjuttua ihoon ja ovat haitallisia päästäessään ihmisen elimistöön sisälle. Beetahiukkasten kantama on pitempi ja ne vaativat suojautumista enemmän väliainetta kuin alfahiukkaset. ^{147}Sm on beetasäteilijä (n. 6,6 MeV), joka lähettää myös gammaa säteilyä (246 keV). Sitä käytetään yleisesti isotooppilähdissä, kuten kilpirauhaslääkän hoidossa.

Gammäsäteily

Gamma säteily on sähkömagneettista säteilyä, jossa atomi ytimen viritystä laukeaa ja ydin lähettää ionisoivia sekondaarishiukkasia, fotoneja. Gamma säteily on usein hyvin läpäisevää ja ulkoista gammäsäteilijä on vaaka suojattu. Säteilyn energiate riippuen voidaan tarvita paksu kerosiijä, terästä tai betonia, jotta säteily saadaan väheennettyä. Useimmissa isotooppilähteissä käytetään ^{60}Co lähteitä (1,25 MeV) kudosten ja elinten hoitoon. Gamma säteilyä kontaminoitua on, mikäli vaurio on saavuttanut hyvin luontamiaan.



Käytännön säteilysuojelu

Säteily suojelun päätarkoituksena on varmistaa, että työntekijöiden säteilyaltistus jää mahdollisimman pieneksi, jotta voidaan suojella kaikkiä osastoille työntekijöiltä. Työntekijät suojella säteily suojeluksella jatkuvasti radioaktiivisen lääkärin käyttöön otettua välineistöä sekä säteily suojeluksella välineistöä tutkimukseen. Välineistöä käytettäessä suojella säteily altistusta ovat ajan minimointi, etäisyyden lisääminen sekä väliaineen käyttö. Tähän sisältyy myös säteily suojeluksella, mille mikäkin säteily suojeluksella on olemassa. Suojella säteily, beetasäteily ja gammäsäteily.

Aika

Säteily altistus riippuu annospuudesta ja ajan tulosta eli mitä vähemmän säteilyä läheltä viettää aikaa, sitä pienempi on siitä saatu annos. Työntekijä nopeasti, silloin mukainen välineistö sekä harjoittelu varmistavat, että altistuminen jää mahdollisimman pieneksi. Hankittuun tuloa työskenneltä säteily altistuksen kanssa vain silloin, kun se on välttämätöntä.

Säteily annos =
annospuuden (μSv/h) x
aika (h)

Etäisyys

Säteily intensiteetti vähennee, kun etäisyys säteily lähteen lisääntyy. Säteily annos pienenee suhteessa etäisyyden neliön all. Tuolalla etäisyys saadaan säteily annos pienemmäksi yhteen näkökseen. Etäisyyden maksimointi on helppoa ja tehokas suojautumiskeino työntekijöille.



KUVA 2. Potilaan ohjeus



KUVA 3. Työntekijä vetosäiliö

Mahdollisimman suuri etäisyys saadaan aikaan käyttämällä pitkävirta suojavälikä, kuten pihlaji ja pinoitaji, suojamalla potilasta monitorien välityksellä ja ohjaamalla häntä mahdollisimman kaukaa.

Väliaine

Etäisyyden ja ajan lisäksi tärkeä suojautumiskeino ulkoista säteilyä on väliaineen käyttö. Suojat ovat tehokkain keino vähentää ihmisen kehoon säteily annosta radioaktiivisista lähteistä lähtevästä säteilyä. Säteily lähteen tulo säteily suojan sisälle aino, kun se on mahdollista, esimerkiksi radioaktiivista lähdettä sisältäviä rakkia on laakettava rakkulatuksen sisään ja kuljettavaa sitä varten tarkoitettua kuljetusastetta. Rakkulatuksen suojan pituus riippuu säteily lähteen ja energian suojen ja väliaineen ovat tehokkain suojat gammäsäteilyä vastaan, kun taas beetasäteilyä vastaan alijäykä ja polyeteeni.



KUVA 4. Kuljetusastat



KUVA 5. Rakkulatuksen a) beetasäteilyä, b-d) gammäsäteilyä



KUVA 6. PET-rakkulatuksia

Kontaminaatio ja dekontaminaatio

Ulkoinen kontaminaatio tarkoittaa radioaktiivisen aineen tai aineen joutumista esimerkiksi työntekijän iholle, iholle tai ympäristöön. Ulkoisessa kontaminaatiossa ihon tai vaatteet altistuvat radioaktiivisille pölyille, aerosoleille, nesteille tai hiukkasille. Särmiä ja suun kautta ulkoinen kontaminaatio voi myös leviää elimistöön sisälle, jolloin hyökkäys on sisäinen kontaminaatio. Dekontaminaatio tarkoittaa radioaktiivisen aineen puhdistamista.

Ihon dekontaminaatio

- Pese saastunut alue lämpimällä vedellä ja saippualla
- Käytä puhdistukseen ja laimautukseen suositeltua liuosta
- Mitä saastunut alue hitaasti pintakontaminaatiomittarilla noin 1-2 cm etäisyydeltä
- Jos saastuneen alueen säteily annos on kaksinkertainen taustaan verrattuna, jatka puhdistusta pehmeällä harjalla vahingoittamatta ihoa



KUVA 7. Puhdistus suunta

Sisään dekontaminaatio

- Huuhdella silmiä juoksevan veden alla /kylmällä vedellä 15 minuutin ajan.
- Muista mitata kätset ja vartat pintakontaminaatioilla ennen sisään koskamista
- Mittaa sisään alue pintakontaminaatioilla
- Tarvittaessa joko huuhdella, suunsa ammosopau on leikattut huuhdella tällä tavalla

Isotooppilaboratoriossa tai muilla säteilyn käyttöpaikoilla radioaktiivisen aineen määrä työskentelytessillä ei saa ylittää taulukossa 1 esitettyä pintakontaminaatioarvoja. Puhdistusomilla estetään radioaktiivisen aineen leviämisen muualle ympäristöön. Radioaktiiviset nesteet imaytetään paperipyyhkeillä ja pölyt pyyhkiään kostealla pyyhkeellä, minkä jälkeen saastunut alue pestään vedellä ja pesuaineella. Puhdistuksen jälkeen saastunut alue mitataan pintakontaminaatioilla. Jos radioaktiivista ainetta on roiskunut lattialla, täytyy alueella päätyä asti.

TAULUKKO 1. Pintakontaminaatioarvot.

Radioaktiivinen aine	Työpaikat ja työvälineet		Työntekijät	
	Välineet-alueet (Bq/cm²)	Tarkkailu- ja muu alue (Bq/cm²)	Vaatteet (Bq/cm²)	Iho (Bq/cm²)
Vaaratonta luokkaan 3 kuuluvat radionuklidit	4	0,4	0,4	0,2
Muut radionuklidit	40	4	4	2

Isotooppilaboratorion työohjeet

- Asiointi oleskelu Isotooppilaboratoriossa tulee ihtä.
- Käsi työvälineet, joko on käytetty radioaktiivisten aineiden käsittelyssä, tulee puhdistaa aina käytön jälkeen.
- Isotooppilaboratorio tulee pitää alit.
- Isotooppilaboratoriossa on oltava kontaminaatio- ja säteilymittarit (kuvaa).
- Radioaktiivisia lääkkeitä käyttöön saatamien aikana on käytettävä kuvan 8 mukaisia suojatarvikkeita.
- Isotooppilaboratoriossa ei saa syödä, juoda eikä tupakoida.
- Pölyväkälähuuho radioaktiivista ainetta käsiteltäessä työ on tehtävä vetokappas.
- Radioaktiivista ainetta käsiteltäessä tulee käyttää säteilysuojia, kuten nukkumajia ja kengänsuojia.
- Radioaktiivista ainetta käsiteltäessä tulee suojata automaattisia laitteita.
- Säteilylaitteet tulee merkitä siten, että ne on helppo tunnistaa. Merkitä on käytävä ilmi, mikä nuklid on kyseessä, pölynä on aktiivisuus ja milloin aktiivisuus on mitattu.
- Kontaminaatio tilanteita varten on oltava asianmukaiset varusteet niiden poistamiseksi.
- Isotooppilaboratorion kalista radioaktiivista ainetta on pidettävä kassa.



Kuvaa B. Suojatarvikkeet



Kuvaa g. Säteilymittarit

LISÄTIETOA

Jurvelin, J. 2005. Radiologian kuvantamisen fyysikkä ja tekniikka sekä varusteet. Teoksessa Soimela, S., Kivisaari, L., Manninen, H., Svedström, E. & Tervanen, O. (toim.) Radiologia. Helsinki: WSOY, 11–76.

Korpela, H. 2004. Isotooppilääketiede. Teoksessa Pukkilu, O. (toim.) Säteilyn käyttö. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 120–125.

Mattsson, S. 2011. Radiation protection of patients and staff in diagnostic nuclear medicine and hybrid imaging. Radiation protection in medicine: setting the scene for the next decade proceedings of an international Conference, 3–12.2011. Bonn, IAEA.

Pastila, R. (toim.) 2007. Säteilyn käyttö ja muu säteilyllä altistava toiminta. Vuosiraportti 2006. STUK-B 213. Helsinki.

Ray, D. 2006. Occupational Radiation Protection. Teoksessa Ray, S., Santos, A., Tattaraw, G. (toim.) Radiation Protection and Dose Optimization. SANI, 99–106.

STUK. 2009. Isotomien säteily ja ihmiset. Helsinki.

STUK. 2014. Röntgenkuvaukset terveydenhuollossa. ST 3.3. 8.12.2014.

STUK. 2016. Säteilyturvallisuus asuinalueiden käytössä. ST 6.1. 1.3.2016.

Väisälä, S., Korpela, H. & Kuitu, M. 2009. Säteilyn käyttö turvallisuudessa ja tutkimuksessa. Teoksessa Pukkilu, O. (toim.) Säteily- ja ydinturvallisuus-käsikirja. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 196–199.

Tämä säteilysuojakapas on tehty osana Tampereen Ammattikorkeakoulun opinnoista.

Tekijät: Tia Huuhtala ja Anni Toke.